Lane Medical Library

LICHTPRIKKELS EN RETINASTROOMEN

IN HUN QUANTITATIEF VERBAND.

H. K. DE HAAS.

LICHTPRIKKELS EN RETINASTROOMEN
IN HUN QUANTITATIEF VERBAND.

Stoomdruk Eduard IJdo. - Leiden.

LICHTPRIKKELS EN RETINASTROOMEN
IN HUN QUANTITATIEF VERBAND.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE GENEESKUNDE,

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS

Mr. H. B. GREVEN,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,

voor de Faculteit der Geneeskunde te verdedigen

op Vrijdag 10 Juli 1903, des namiddags te 1 uur,

DOOR

HENDRIK KAREL DE HAAS,

GEBOREN TE ROTTERDAM.

LEIDEN. — EDUARD IJDO.
1903.

Aan mijne Ouders

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/lichtprikkelsenr0000hend

Bij de voltooiing mijner Academische Studiën, voel ik mij gedrongen mijn dank te brengen aan de Hoogleeraren van de Philosophische en Medische Faculteiten, voor het onderwijs, dat ik van hen genoten heb. Het stemt mij daarbij tot weemoed, zoovelen onder mijne leermeesters slechts door hunne nagedachtenis te kunnen eeren.

U, zeer geachte Promotor, Hooggeleerde Einthoven, *ben ik dankbaar voor hetgeen ik als Uw assistent op Uw Laboratorium heb kunnen, en meer nog voor het vele, dat ik uit Uw voorgaan en door Uwe persoonlijke leiding heb mogen leeren.*

U, Hooggeleerde Koster, *wil ik mijn dank betuigen, het voorrecht te hebben, thans meer van nabij Uw leerling te zijn.*

INHOUD.

Bladz.

HOOFDSTUK I.

Historisch overzicht 1

HOOFDSTUK II.

Methode van onderzoek 20

HOOFDSTUK III.

Ruststroom en Actiestroom 44

HOOFDSTUK IV.

Kortdurende retina-verlichting 53

HOOFDSTUK V.

Gevolgen van adaptatie en van prikkeling met gekleurd licht 69

HOOFDSTUK VI.

Over de betrekking, die tusschen de intensiteit van den prikkel, en de intensiteit van de reactie bestaat . . . 75

Literatuur-opgave 105

Plaat.

Stellingen.

EERSTE HOOFDSTUK.

Historisch overzicht.

Aan den Zweedschen physioloog Holmgren komt de eer toe, den actiestroom der retina te hebben ontdekt. De beteekenis dezer ontdekking ligt in de omstandigheid, dat voor de eerste maal in een zintuig een objectieve verandering werd aangetoond, die door den adaequaten, uitwendigen prikkel wordt teweeg gebracht.

Men zou Holmgren's ontdekking als den eersten stap kunnen beschouwen, die naar een objectieve leer der gewaarwording voert, en men mag met grond betwijfelen, of zij wel die aandacht getrokken en die waardeering gevonden heeft, welke zij verdiende.

Holmgren's onderzoekingen, die in 1866 in het Zweedsch waren uitgegeven (IV) [1]), werden eerst alge-

[1]) De Romeinsche cijfers tusschen ( ) geplaatst, verwijzen naar de desbetreffende nummers in de literatuuropgave.

meen toegankelijk toen zij op verzoek van Kühne in het Duitsch waren vertaald (VII).

In hoofdzaak is door Holmgren gevonden, dat de ruststroom [1]) van een geïsoleerd en in het donker geplaatst kikvorschenoog versterkt wordt, zoodra er licht toetreedt. Deze positieve variatie van den ruststroom mag de actiestroom of de photo-electrische reactie der retina worden genoemd.

Wordt de lichtprikkel weder opgeheven, dan wordt de ruststroom nogmaals versterkt, hij ondergaat dus nogmaals een positieve variatie, om ten slotte zijn oorspronkelijke kracht te hernemen.

De actiestroom wordt niet veroorzaakt door de aanwezigheid van oogspieren, zooals zorgvuldig werd nagegaan.

---

[1]) De electromotorische kracht van de retina en den nervus opticus was reeds als ruststroom door E. du Bois-Reymond (I) onderzocht met het doel om na te gaan, of in de retina vrije zenuwuiteinden bestonden; deze toch zouden, naar hetgeen deze baanbreker der electrophysiologie verwachtte naar analogie van wat hij voor spieren aannam, negatief ten opzichte van het lengteoppervlak zijn.

Aan den bulbus vond hij echter geen enkel punt negatief ten opzichte van de dwarse doorsnede van den opticus; dus de verwachte analogie ontbrak (1849). Sedert echter de spieren geen potentiaalverschil aan haar oppervlakte bleken te bezitten, mits zij geheel onbeschadigd waren, verloor de electromotorische kracht van de retina, als zetel van vrije zenuwuiteinden, veel van hare belangrijkheid.

Hermann (II, III) vond het bulbusoppervlak geheel gelijk in potentiaal aan het oppervlak van de oogzenuw, mits ver van de dwarse doorsnede.

Holmgren wijdde ook veel aandacht aan dit onderwerp (VII), hij vond een zône, tusschen corpus ciliaire en intreeplaats van den nervus opticus, electro-negatief zoowel ten opzichte van de cornea als van den nervus opticus.

Sloot verlamming van de pupil door curare bij het geëxstirpeerde kikvorschenoog een mogelijken invloed van iriscontractie niet met voldoende zekerheid uit, na verwijdering van de geheele voorste helft van den oogbol of, beter nog, na isolatie van de retina zelf, bleef geen twijfel meer mogelijk: alleen de retina kon de zetel der electromotorische veranderingen zijn.

Bij reptiliën, vogels en zoogdieren werd bij verlichting een negatieve actiestroom gevonden, bij verduistering een positieve.

Of het oog geëxstirpeerd werd, — hetgeen bij het spoedig afsterven van weefsels van warmbloeders snel experimenteeren vorderde, — of in situ onderzocht, maakte geen verschil.

Bij visschen gelukte het aan Holmgren niet, een photo-electrische reactie aan te toonen.

Konijnen, bij welke voor andere doeleinden twee jaar te voren de nervus opticus in de schedelholte doorgesneden was, waar dus de iris op licht niet meer reageerde, bleken ook een actiestroom aan den bulbus te vertoonen. (VI).

Kikvorschenoogen, welke na twee uur aan zonlicht blootgesteld geweest te zijn, geen staafjesrood meer bevatten, gaven desalniettemin stroom, terwijl oogen met staafjesrood, welke vier en twintig uur in een aluinoplossing hadden gelegen, zooals te verwachten was, stroomloos bleven.

Holmgren concludeert hieruit te recht, dat het staafjesrood niet onmisbaar is voor de lichtperceptie.

Ten slotte nemen wij een vergelijking over, die door Holmgren wordt ten beste gegeven: evenals de verrichtingen van een motorische zenuw, op twee wijzen kunnen worden bestudeerd, nl. door middel van de

contractie der spier, die door de zenuw wordt geïnnerveerd en door middel van den electrischen stroom, die naar een galvanometer kan worden afgeleid, evenzoo zouden voor de verrichtingen der retina twee signaalinrichtingen bestaan: de subjectieve gezichtsgewaarwording en het objectieve electrische meetinstrument.

Onbekend met de destijds nog slechts in het Zweedsch verschenen onderzoekingen van Holmgren publiceeren in 1873 Dewar en M.' Kendrick een verhandeling over hetzelfde onderwerp (VIII, IX). Zij toonen bij representanten van de vijf werveldierklassen en bij crustaceën het bestaan van een actiestroom aan en wel een versterking van den aanwezigen ruststroom, een positieve variatie alzoo.

In voldoende overeenstemming met Holmgren vinden zij, dat de verlichting met de gele stralen van het spectrum de grootste stroomvariatie veroorzaakt, terwijl de groene, roode en blauwe stralen in afnemende volgorde werkzaam blijken te zijn. Doch daar zij de relatieve intensiteit der gebruikte lichtsoorten niet nader aangeven, kunnen hunne waarnemingen ook de relatieve gevoeligheid voor verschillende kleuren niet leeren kennen.

Meer gewicht behoort aan hunne waarneming ten deel te vallen, dat de sterkte van den door verlichting ontstanen actiestroom vrijwel op dezelfde wijze zou kunnen afhangen van de sterkte van den lichtprikkel, als aan de wet van Fechner beantwoordt, al worden tot staving hiervan in de overigens aan cijfers zeer rijke verhandeling slechts eenige waarnemingen medegedeeld; wij komen in hoofdstuk VI hierop nader terug.

Uitvoerig wordt experimenteel bewezen, dat de retina de zetel der electromotorische kracht is; de daardoor ontstane stroom kon tot in de hersenen aangetoond

worden Ja, in eenige latere publicaties beschrijft Dewar, cijfers achterwege latende, (X—XIV) hoe het beiden onderzoekers gelukte, den stroom bij den levenden mensch aan te toonen. Daartoe werd één electrode aangebracht in een aan de huid rondom het oog nauw aansluitend glazen bakje, hetwelk met physiologische keukenzoutoplossing gevuld was, terwijl de andere electrode op de huid in den nek werd geplaatst.

Wanneer de uitwendige oogspieren voldoende rustig gehouden werden, — wat uiterst moeilijk uitvoerbaar bleek, — kon worden bewezen, dat bij verlichting van het oog een electrische stroom werd ontwikkeld.

Chatin, die in het jaar 1880 zijn onderzoekingen over retina-stroomen mededeelt, schrijft, dat de oogen van Mollusken (XV, XVI) en Crustaceën (XVII) op verschillend gekleurd licht verschillend sterk reageeren.

Doch ook Chatin kent de energieverhouding in de door hem gebruikte lichtsoorten niet, zoodat zijne conclusies omtrent verschil in gevoeligheid voor verschillende kleuren evenzeer op onvoldoenden grond steunen als die van Dewar en M.' Kendrick.

In hetzelfde deeltje van de onderzoekingen van het physiologisch laboratorium te Heidelberg, waarin Holmgren aan Kühne's verzoek voldoet om een Duitsche vertaling zijner Zweedsche geschriften te geven, laten Kühne en Steiner hun eigen onderzoekingen (XVIII) volgen, met welker openbaarmaking zij verklaren gewacht te hebben, tot zij van Holmgren's werk kennis hadden kunnen nemen. Met de onderzoekingen van Dewar en M.' Kendrick wordt eerst een jaar later rekening gehouden.

De verdiensten van Kühne en Steiner zijn vooral gelegen in de uitvoerige en nauwkeurige wijze, waarop

zij de retinastroomen hebben onderzocht en gemeten. De ervaring op het Heidelbergsche laboratorium na Boll's ontdekking van het staafjesrood verworven, kwam dezen onderzoekers goed te stade.

De geïsoleerde retina bleek de zetel te zijn van vrij sterke electromotorische krachten: de staafjeszijde was negatief ten opzichte van de zenuwvezellaag. Tusschen peripherie en intreeplaats van den nervus opticus bestond ook een potentiaalverschil: de peripherie was aan de binnenzijde positief, aan de buitenzijde negatief ten opzichte van de intreeplaats der zenuw.

Bij verlichting was er zoowel tusschen twee plaatsen der binnenvlakte als tusschen twee plaatsen der buitenvlakte een potentiaalverandering bemerkbaar, die echter steeds klein bleef ten opzichte van de potentiaalverandering, die tusschen deze vlakten onderling tot stand kwam.

Meestal bleek bij retinae van kikvorschen, welke te voren niet in het donker geplaatst waren, bij plotselinge verlichting een eenvoudige negatieve variatie tot stand te komen, terwijl bij donkervorschen een positieve voorslag, gevolgd door een afnemen van den ruststroom werd geconstateerd.

Daar de snel afstervende retina van konijnen, in overeenstemming met wat de vorige onderzoekers aan den geheelen bulbus vonden, slechts een negatieve variatie van den ruststroom vertoonde, werden Kühne en Steiner tot de conclusie geleid, dat deze enkelvoudige negatieve variatie een blijk zou zijn van het afsterven van het orgaan.

Werd een kikvorschenoog in voor het leven nadeelige omstandigheden gebracht, dan kon hetzelfde waargenomen worden.

De retina namelijk van het oog, hetwelk in den afgeknipten kop was achtergebleven, vertoonde, als ongeveer een half uur na de onthoofding dit oog door licht geprikkeld werd, geen positieven voorslag meer, in tegenstelling met het eerste, direct uit de koolzuurrijke omgeving verwijderde oog. Een opzettelijke CO_2 toevoer, bevriezing, verwarming en chloroformeering, bewerkten ook verkleining, resp. verdwijning eerst van den positieven voorslag, en pas daarna van de negatieve stroomvariatie.

Een retina, die van de staafjeszijde verlicht werd, reageerde op gewone wijze Bij deze proef moest in het bijzonder met twee omstandigheden rekening worden gehouden. Vooreerst moest gezorgd worden, dat het licht, dat van den buitenkant in de retina drong, niet aan de binnenzijde werd teruggekaatst, en vervolgens moest de pigmentlaag der retina geheel of gedeeltelijk worden verwijderd, daar het spoedig bleek, dat het pigmentepithelium der retina alle licht tegenhield. De terugkaatsing aan de binnenvlakte der retina werd vermeden, door deze met een laagje chorioïdea te bedekken.

In een tweede verhandeling (XIX) deelen Kühne en Steiner het onderzoek mede, dat zij aan geheele reeksen van geïsoleerde netvliezen hebben verricht.

Als type van de normale potentiaalwisseling bij een verlichting wordt aangegeven: een stijging van de bestaande positieve spanning der zenuwvezellaag, ten opzichte van de staafjes- en kegellaag, en een daarop volgende daling van iets geringer bedrag, waarbij dus de ruststroom nog steeds versterkt blijft; terwijl bij het verdwijnen van den lichtprikkel, zich na een kortdurende stijging, een langzame daling der stroomsterkte tot haar oorspronkelijk bedrag van vóór het aanbrengen van den lichtprikkel kenbaar maakt.

Wordt een retina geruimen tijd voor de proeven gebruikt, of is zij in mindere of meerdere mate beschadigd, dan neemt de daling der stroomsterkte, die op den positieven voorslag volgt, toe; zij wordt grooter dan de positieve voorslag zelf en vormt aldus een negatieve variatie van den ruststroom. Ook deze laatste kan worden overtroffen, zoodat de galvanometer bij ongecompenseerden ruststroom naar de andere zijde van het nulpunt uitslaat. Wordt de lichtprikkel nu opgeheven, dan stijgt de galvanometer weder snel, passeert den stand van den ruststroom en bereikt soms een uitslag, nog grooter dan de eerste positieve voorslag. Er dient hierbij te worden vermeld, dat de schrijvers hun onderzoek met een aperiodisch meetinstrument hebben verricht.

De ruststroom daalde gewoonlijk eerst snel en gedurende den verderen loop der proeven allengs langzamer; soms keerde hij om. Toch bleef alsdan de actiestroom zijn gewone richting behouden, d. w. z dat bij een positieven voorslag de zenuwvezellaag meer positief, resp. minder negatief werd.

Dikwijls waren de drie variaties van den ruststroom alle te zien na een enkele verlichting door een enkele electrische vonk, een bewijs, dat het verschijnen, voortduren en ophouden der verlichting niet zonder meer voor de eerste, de tweede, en de derde potentiaalwisseling aansprakelijk gesteld mogen worden. Meestal trad echter slechts een enkele negatieve variatie op

Werd slechts een deel der retina verlicht, dan werden de stroomvariaties kleiner, al naarmate verder van de plaats der electroden werd geprikkeld: stroomvariaties, welke eensdeels afhankelijk gesteld moeten worden van stroomlissen in het vochtige weefsel, anderdeels toege-

schreven moeten worden aan het niet gelocaliseerd blijven van het licht in de troebele retina.

Op den vroeger reeds vermelden invloed van koolzuur-intoxicatie wordt thans verder ingegaan. Daar een oog een uur ongeveer na de exstirpatie een voor licht ongevoelige, na drie uur of langer een gevoelige retina bleek te bevatten, werd verondersteld, dat de gasdiffusie met name de CO_2-verwijdering in een oud oog gemakkelijker zou plaats hebben dan in een versch oog. Het oude oog is meestal door vochtverlies eenigszins samengevallen en verslapt, waardoor de gasdiffusie wellicht zou kunnen worden bevorderd.

Een oplossing van 0,5% KCl bleek een retina snel te dooden, waaruit evenwel nog niet mag worden afgeleid, dat de chloorkalium een weefselgift is, daar immers de gebruikte oplossing vrij sterk hypisotonisch moet heeten.

Daarna behandelen de schrijvers den actiestroom van den bulbus in toto.

Zij nemen een positieve variatie van den ruststroom als normaal aan, terwijl een negatieve variatie (of een positieve voorslag met opvolgende negatieve variatie) hen met zekerheid tot gelaedeerd of vermoeid zijn van het oog doet besluiten.

Zij vinden den galvanometeruitslag bij het onderzoek van geheele bulbi eenige malen kleiner dan bij geïsoleerde retinae; ook hebben zeer kleine hoeveelheden licht, welke een retina nog prikkelen, bij een bulbus geen effect. Uit een in deze verhandeling voorkomende tabel blijkt de electrische reactie op licht bij bulbi gemiddeld ongeveer 0,4 millivolt, bij geïsoleerde retinae 0,6 millivolt te bedragen.

Thans volgt een bespreking van het verschil in den

retina- en den bulbusstroom, te weten: de meesttijds negatieve variatie na een eersten positieven voorslag bij retinae, welke negativiteit bij bulbi, tenzij deze gelaedeerd zijn, ontbreekt.

Wordt een bulbus voorzichtig van cornea en iris ontdaan en de stroom eenerzijds van de lamina cribrosa, anderzijds van de lens afgeleid, dan vertoont zich bij verlichting het gewone bulbus-type; soms is de uitslag opvallend groot [1]).

Wordt de lens met de zonula verwijderd, dan treedt nog geen verandering in den actiestroom op Een zacht blazen op het glasvocht of een trekken aan zonula of corpus ciliare zijn echter reeds voldoende, om het type te zien veranderen; allengs ziet men een vermindering van den positieven eersten uitslag intreden, welke bij elke volgende verlichting steeds meer wordt verkleind, om ten slotte in een negatieve variatie over te gaan. De verklaring van deze verschijnselen wordt gezocht in een regenereerend proces, dat in de retina werkzaam zou zijn, zoo lang deze nog innig met de chorioïdea is verbonden, en dat niet meer zou plaats grijpen, zoodra die verbinding zou zijn verbroken.

Het bij verschillende vischsoorten ingestelde onderzoek gaf, op eenige kleine bijzonderheden na, hetzelfde resultaat als bij den kikvorsch gevonden was.

Verder bleek de soms 4 cM. lange nervus opticus, — het zij hier slechts kort aangestipt, — een negatieve variatie van den demarcatiestroom te vertoonen bij *electrische prikkeling*, en nadat eenige technische moeilijkheden overwonnen waren, ook bij *lichtprikkeling* van de retina. Deze negatieve variatie was bij het begin der retina-verlichting

[1]) Door vermindering van den weerstand?

vrij groot, terwijl zij bij het voortduren der verlichting geringer werd. Werd het licht uitgedoofd, dan werd de variatie gedurende korten tijd iets grooter, om daarna te verdwijnen, hetgeen, als men een negatieve variatie van den zenuwstroom als een blijk van „in actie" zijn mag beschouwen, zou beteekenen: het verschijnen, zoowel als het verdwijnen van lichtstralen werkt sterker prikkelend dan het voortduren derzelfde bestraling.

Het mag niet onvermeld blijven, dat het den schrijvers ook gelukte een negatieve variatie van den demarcatiestroom aan het periphere eind van een geïsoleerden nervus opticus aan te toonen, wanneer deze centraal werd geprikkeld.

Een der belangrijkste gedeelten van het onderzoek van Kühne en Steiner schijnt ons de poging toe, om de bron der electromotorische krachten in de retina nader te localiseeren. Vooreerst wordt gewezen op den langen levensduur van epitheliale elementen in vergelijking met zenuwelementen, wanneer beide weefselsoorten uit het lichaam zijn genomen en geïsoleerd worden bewaard.

Een duiven-ischiadicus vertoont 7 minuten na den dood van het dier geen negatieve variatie van den demarcatiestroom, terwijl een duivenbulbus nog 40 tot 50 minuten na zijn isolatie op licht reageert Daar men nu allen grond heeft, om aan te nemen, dat het zenuwweefsel in den bulbus op ongeveer denzelfden tijd zal afsterven als de vezelen van een zenuwstam, zoo kan men met groote waarschijnlijkheid besluiten, dat 40 minuten na de isolatie van den bulbus niet de zenuwvezellaag maar de epitheliale laag, met name de staafjes en kegellaag der retina, de bron der electriciteitsontwikkeling zal zijn.

Doch bij deze algemeene beschouwingen bleven Kühne en Steiner niet staan Zij trachtten langs experimenteelen weg een direct antwoord op de door hen gestelde vragen te vinden en gingen daarbij aldus te werk.

Een retina werd glad uitgestreken, tusschen twee bladen zijdepapier gelegd en onder een belasting van 20 tot 100 gram geperst. Werd nu het bovenste papier opgelicht, dan gelukte het dikwijls de lagen der retina van elkaar te scheiden. Aan het eene papier kleefden de meeste lagen, die een volmaakt kleurlooze, vrij dikke massa vormden. terwijl aan het andere papier de fraai purper gekleurde, brokkelige buitenlagen der retina waren bevestigd. De voorste retinalagen, tusschen de electroden geplaatst, gaven de negatieve variatie, zooals bij de retinae gewoonlijk geschiedde, meestal met verlies van den positieven voorslag. De positieve naslag bij onderbreking der verlichting bleef ook dikwijls aanwezig.

Bij de purpurgekleurde buitenste helft was echter geen stroomvariatie door verlichting aantoonbaar.

Bij mikroskopisch onderzoek bleek de kleurlooze retinahelft te vertoonen: het hoekig mozaïk van de binnenleden der staafjes met daartusschen de uitstekende, puntige, glanzende kegels, wier buitenleden meerendeels niet waren afgescheurd.

Op het gekleurde papier bleken niets dan staafjesbuitenleden aanwezig te zijn. Hieruit volgt, indien men de staafjes- en kegellaag voor de bron der electriciteitsontwikkeling houdt, dat òf de staafjesbinnenleden, òf de kegels de oorzaak van de photo-electrische verschijnselen moeten zijn

Dit woord, *photo-electrisch*, veel door Kühne en Steiner gebruikt, verklaren de schrijvers kortheidshalve gekozen te hebben, zonder daarmede een ana-

logie met een woord als *thermo-electrisch* te bedoelen.

Immers, er zullen tusschen lichtprikkel en electromotorische verschijnselen wel eenige tusschenschakels liggen, welke als eerste schakels moeten worden opgevat van de lange keten, die *waarneming* heet.

De photo-electrische verschijnselen kunnen beter met de myo-electrische worden vergeleken. En evenals men deze laatste in onmiddellijk verband brengt met het ontstaan der spiercontractie, zoo moet men ook de eerste beschouwen als de naaste oorzaak te vormen voor het ontstaan der periphere opticus-prikkeling.

Een schoone bevestiging van Kühne en Steiner's denkbeeld, dat de staafjes- en kegellaag de zetel is van de electromotorische verschijnselen in het oog, leverde Beck (XXIV) aan het cephalopoden-oog, waarin de genoemde retina-elementen van nature gescheiden zijn van de overige lagen. De verkregen resultaten stemmen met die der vorige onderzoekers overeen.

S. Fuchs betreedt het door ons behandelde terrein met het doel, het latent stadium te meten en den vorm van den actiestroom te leeren kennen. (XXII, XXIII). Hij bediende zich van Bernstein's differentiaal rheotoom. Terwijl hij als lichtprikkel een electrische vonk gebruikte, vond hij, dat er bij de aanzienlijke verschillen, die zich in den vorm der photo-electrische reactie voordeden, toch in hoofdzaak twee typen konden worden onderscheiden, één met een positieven voorslag en een opvolgende negatieve variatie, en één met een direct intredende negatieve variatie.

Het begin der kromme werd in 1894 gemeten, eerst 7 jaar later werd het einde der kromme bepaald, terwijl tevens de vorige proevenreeksen werden herhaald. De verkregen waarden verschillen in deze reeksen zeer sterk.

Werd in 1894 bij een der typen een latent stadium gevonden van gemiddeld 0,0020″, zeven jaar viel dit bedrag bij hetzelfde type zeven maal grooter uit, nl. 0,0142″. Toen bleek de totale variatie ± 0,024″ te duren.

Kühne en Steiner hebben, hoewel zij nergens den duur der stroomwisselingen bij geïsoleerde retinae aangeven, zeer zeker met aanzienlijk veel langer aanhoudende electromotorische processen te doen gehad, immers zij (zie XIX, blz. 79) verklaren, een positieven voorslag, een daarop volgende vermindering van het potentiaalverschil, en weder een positieven naslag waargenomen te hebben bij verlichting met een enkele electrische vonk. Hun gedempte astatische boussole van Wiedemann zal van drie wisselingen, zelfs al namen deze een geheele seconde in beslag, weinig hebben kunnen aantoonen.

De tijden, die Fuchs met honderste deelen eener seconde meet, worden dus naar alle waarschijnlijkheid door Kühne en Steiner met ruim honderdmaal grooter bedragen waargenomen.

In hoofdstuk III komen wij op de door Fuchs gemeten tijden terug.

Nadat Himstedt en Nagel (XXV, XXVI) gevonden hadden, dat hun eigen oogen gevoelig waren voor Becquerel-, Röntgen- en ultraviolette stralen, onderzochten zij den invloed dezer stralen op het geïsoleerde kikvorschenoog.

Het radiumpraeparaat, dat de Becquerel-stralen uitzond, was zwak, en deed geen photo-electrische reactie ontstaan, doch zoowel de Röntgen-, als de ultraviolette stralen hadden een duidelijke uitwerking. De electromotorische veranderingen, door deze stralen te weeg gebracht, verschilden in geen enkel opzicht van die, welke met behulp van gewoon wit licht werden verkregen.

Langdurige bestraling met gewoon wit licht verzwakte het effect der andere stralen in gelijke mate, als het effect van het gewone licht zelf.

In een volgende verhandeling beschrijven Himstedt en Nagel (XXVII) hun onderzoek naar de gevoeligheid van het kikvorschenoog voor verschillend gekleurd licht.

Daar de meeste waarnemingen over de prikkelwaarde van licht van verschillende golflengte voor het menschelijk oog met een dispersie-spectrum van gaslicht verricht zijn, werd hetzelfde spectrum ook hier gekozen. Van een ongeveer 4 cM. lang spectrum werd telkens een stuk van 1.25 mM. gebruikt. Daar dit minder dan een dertigste deel van de totale spectrumlengte bedroeg, werd dus, practisch gesproken, met monochromatisch licht geprikkeld.

Het resultaat stemde geheel overeen met wat langs subjectieven weg bij den mensch gevonden is. De maxima van prikkeling liggen voor den mensch en den kikvorsch in dezelfde spectrumdeelen, en wel bij donkeradaptatie in het geelgroen ($\lambda = 0{,}544$), bij lichtadaptatie in het geel ($\lambda = 0{,}589$). De gelijke verschuiving van het prikkelingsmaximum in het spectrum voor den mensch en den kikvorsch moet uit den overeenkomstigen bouw van beider retina worden verklaard, die immers bij beide de voor zwak licht gevoelige staafjes en de alleen op sterker licht reageerende kegels bevat.

Wij mogen hier de onderzoekingen van een landgenoot, Dr. Grijns, niet onvermeld laten, hoewel zij het door ons behandelde gebied slechts van terzijde raken. (XX).

Nadat Van Genderen Stort de beweging der kegels in het netvlies ontdekt had, en Engelmann gevonden had, dat bij verlichting van het ééne oog,

ook de kegels in het andere zich samentrekken, liet het zich aanzien, — daar immers alle bewegingen in weefsels met electrische verschijnselen gepaard gaan, — dat bij prikkeling van het ééne oog, reflectorisch electromotorische krachten in het andere zouden worden te voorschijn geroepen.

Grijns vond deze verwachting bevestigd. Tevens bleek hem, dat verlichting van het oog bij een kikvorsch een variatie in den huidstroom teweeg bracht.

Bij directe prikkeling van den nervus opticus met een inductorium, werd aan den bulbus derzelfde zijde een stroomvariatie verkregen, welker richting van de frequentie der inductieslagen afhing. Chemische prikkeling van de oogzenuw gaf ook een variatie en wel van wisselende richting.

Engelmann deelt deze onder zijn leiding door Grijns verrichte proeven mede in Helmholtz' feestbundel (XXI) en voegt er nog eenige belangrijke opmerkingen aan toe.

Wij komen ten slotte aan de onderzoekingen van Aug. D. Waller, die zich in het bijzonder verdienstelijk heeft gemaakt door de toepassing der photographie bij de bestudeering van den vorm der ontwikkelde electriciteitsbeweging, terwijl hij bovendien bij al zijn waarnemingen het bedrag der wisselende electromotorische krachten, voor zoover dat met zijn langzaam schrijvenden galvanometer mogelijk was, nauwkeurig in millivolts heeft aangegeven.

Het is aan geen twijfel onderhevig, dat onze kennis der electrische stroomen door Waller's werk zeer belangrijk aan nauwkeurigheid en zekerheid heeft gewonnen.

De door hem gebruikte galvanometer was van het

Thomson-type. Een door den spiegel gereflecteerd lichtbeeld werd op een photographisch gevoelige plaat geworpen, die door middel van een uurwerk met gelijkmatige snelheid verticaal werd neergelaten, terwijl zich het lichtbeeld zelf in horizontale richting over de plaat bewoog.

De aldus verkregen photographische krommen gaven den vorm der ontwikkelde electrische stroomen objectief weer. Door aan het begin en het einde van iedere waarnemingsreeks een electromotorische kracht van 1 millivolt in de keten te lasschen, die daarbij haar totalen weerstand onveranderd behield, werd iedere reeks van krommen voorafgegaan en gevolgd door een uitslag, die de juiste maat voor 1 millivolt potentiaal-verschil voorstelde. Hierdoor werd het overzicht over de grootte der photo-electrische reacties en haar wijzigingen onder den invloed van verschillende omstandigheden buitengewoon vergemakkelijkt. Zoo is bijv. op duidelijke wijze en onmiddellijk zichtbaar, hoe de photo-electrische reactie van een oog, dat met inductieslagen is geprikkeld (XXXI), is toegenomen; hoe na tal van tijdelijke verlichtingen de vermoeienis zich doet gelden, hoe chloroform het oog doodt, terwijl aether alleen een tijdelijke bedwelming veroorzaakt, enz.

Merkwaardig is wat Waller van den vorm der photo-electrische reactie vermeldt. Hij onderscheidt in het leven van een geïsoleerd kikvorschenoog drie stadia, die elk hun eigen vorm van photo-electrische reactie vertoonen.

In het eerste of versche stadium veroorzaakt een oog bij plotselinge verlichting een positieven stroom, die langzaam aan toeneemt, of ten minste niet afneemt gedurende de bestraling. Bij het ophouden der bestraling ontstaat een kleine, positieve uitslag, die door een ver-

mindering tot het oorspronkelijke bedrag van den ruststroom wordt gevolgd.

Het tweede stadium vertoont alle overgangen van het eerste naar het derde stadium. In het begin van het tweede stadium wordt de positieve stroom, die bij het plotseling schijnen van licht ontstaat, vrij spoedig verminderd. Het verdwijnen van het licht veroorzaakt dan een sterken kortdurenden positieven uitslag Later in het tweede stadium is de uitslag bij plotselinge verlichting nog wel positief, maar reeds tijdens de verlichting vermindert hij tot 0 en slaat de galvanometerspiegel zelfs naar de andere richting over. De photographische kromme van Waller in dit tweede stadium van het oog komt merkwaardig nauwkeurig overeen met een figuur, die Kühne en Steiner reeds vroeger hadden gepubliceerd en die zij, naar de gegevens hunner galvanometeraflezingen in een coördinatenstel hadden moeten construeeren.

In Waller's derde stadium reageert het oog met een uitsluitend negatieve stroomvariatie.

Wij mogen de bespreking van den vorm der electriciteitsbeweging niet eindigen, zonder met een woord melding te hebben gemaakt van het latente stadium. Dit is soms zeer groot, in een der door Waller geregistreerde krommen zelfs 5 seconden, waarin de onderzoeker aanleiding heeft gevonden om van een schijnbaar latent stadium te spreken. De tijd, die er verloopt tusschen het aanbrengen van den lichtprikkel en de eerste duidelijke teekenen der photo-electrische reactie zou eerder een tijd van aarzeling dan een tijd van latente prikkeling zijn. En de aarzeling zou worden verklaard door de aanwezigheid van twee elkaar tegenovergestelde electromotorische krachten, die door den lichtprikkel zouden

worden te voorschijn geroepen, en die in den aanvang elkaar juist in evenwicht zouden houden.

Een bijzondere verdienste van Waller is ten slotte nog het onderzoek, dat hij verrichtte naar de electromotorische reactie, die door een electrischen prikkel in een geïsoleerd kikvorschenoog wordt te voorschijn geroepen.

Een inductieslag, in welke richting ook door het oog gevoerd, doet een kortdurenden, krachtigen, positieven reactiestroom ontstaan, d. i. dus een stroomvariatie, waarbij de cornea tijdelijk sterker positief, casu quo minder negatief wordt ten opzichte van de achtervlakte der sclerotica. Dit verschijnsel wordt door Waller „blaze effect" genoemd. Het „blaze effect" bleek hem een algemeen levensverschijnsel te zijn (XXXIII). Het is in hoofdtrekken bij een aantal dierlijke en plantaardige weefsels teruggevonden en is een zeer gevoelig *reagens op het leven*. Waller meent zelfs in het „blaze effect" de eerste zoowel als de laatste teekenen van het leven te hebben gevonden (XXXVI, XXXVII).

In de hoofdstukken V en VI moeten wij nog nader op de onderzoekingen van Waller terugkomen.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Methode van onderzoek.

A. Het praepareeren van het oog.

De proeven werden verricht met oogen van Rana esculenta.

Het praepareeren der oogen geschiedde gewoonlijk in een donkere kamer achter rood glas op de volgende wijze:

Met een enkelen knip werd de kikvorsch onthoofd, volgens een naar achter convex gebogen lijn. De ligging van deze scheidingslijn was van beteekenis voor het meerdere of mindere gemak, waarmede de volgende manipulaties zouden gelukken.

De snede trof boven- en onderkaak vóór den mondhoek, liep vóór de trommelvliezen, waaraan de huid vast verbonden is, achter door den oogkuil en trof de mediaanlijn zooveel mogelijk naar achteren.

Na verwoesting van het centrale zenuwstelsel in het

achterste deel en, — indien op geen lange oogzenuw prijs werd gesteld, — ook in het voorste deel van den kop, werd dit laatste aan het achterhoofdsbeen in een handdoek gevat, terwijl het verhemelte naar beneden gericht bleef. De los liggende kophuid, welke slechts aan de oogleden en den kaakrand met haar onderlaag vergroeid is, wordt nu met de andere hand tusschen den doek gevat en gemakkelijk afgescheurd. De oogleden en de conjunctiva fornicis werden daarbij zoo glad van den bulbus verwijderd, als met schaar en pincet bij vol daglicht nauwelijks gelukt.

Deze schijnbaar ruwe handgreep, ook door Fuchs op voorbeeld van Kühne toegepast, geeft voortreffelijke resultaten en levert, vooral in het donker werkend, groot gemak.

De stevige aanhechting van de huid aan den kaakrand laat bij voldoende trekken ook los of, en dit veel liever, werd door mij gebruikt om de kaak zonder instrumenten eveneens stomp te verwijderen.

Door tijdens het trekken aan de kophuid naar vóór en boven de neuspunt krachtig naar beneden te drukken, breekt de neus met de daaraan verbonden kaak ongeveer ter hoogte van den voorrand van de oogkassen af van het beenen tusschenschot tusschen de kassen Trekt men nu allengs meer naar voren en eindelijk recht naar beneden, dan scheurt men tezamen met de kaak den neus, den zijwand en den voorwand der orbita af, terwijl ter weerszijden van een beenen wig de oogen, ontdaan van alle orbitaal vet, geheel vrij blijven hangen. Zij zijn alleen nog bevestigd aan den nervus opticus en de slecht gedifferentieerde oogspieren, die dezen omsluiten.

De basis der beenen wig wordt nu in een klem bevestigd en de oogen verder met schaar en pincet gepraepareerd.

Het aanleggen der electroden, gewoonlijk één op de

lamina cribrosa, de ander op de cornea vlak bij den limbus, vorderde meestal meer tijd en ook meer licht dan het praepareeren van het oog

Eerst nadat een van binnen bevochtigde glazen stolp 2, zie fig. 1 der plaat, en een zwarte kartonnen kast 3 over het praeparaat waren geschoven, werd het, geheel gereed voor de onmiddellijke verbinding met den galvanometer, naar de zaal gebracht, waar de metingen plaats vonden.

B. De verlichting van het oog.

Al onze metingen werden uitgevoerd in een helder verlicht vertrek. Dat desniettegenstaande de bestraling van het oog nauwkeurig kon worden gedoseerd, danken wij aan de toepassing van het principe der beweegbare lichtdichte verbindingen, waarvan het nut reeds herhaaldelijk op het physiologisch laboratorium te Leiden was gebleken. Wij zijn aldus bevrijd geweest van de nadeelen, die het werken in een donkere kamer met zich brengt.

Het oog 1 (zie fig. 1 der plaat) bevindt zich in de reeds genoemde glazen stolp 2, waarover de zwarte kartonnen kast lichtdicht sluit.

Bij het bevochtigen van den binnenwand der glazen stolp wordt er steeds zorg voor gedragen, dat dat gedeelte van het glas, waardoorheen de lichtstralen geworpen moeten worden, droog blijft. De kartonnen kast heeft een buisvormig aanzetstuk van 35 mM. diameter, welks opening bij 4 met een dun vloeipapier is bespannen. In plaats van het oog direct te verlichten, wordt dit vloeipapier, dat zich op 6 tot 7 cM. afstand van het oog bevindt, door de lichtbron bestraald, hetgeen wel is

waar eenig verlies van licht in het oog ten gevolge heeft, maar daartegenover het groote voordeel aanbiedt, dat bij veranderingen in intensiteit der bestraling, het lichtbeeld op de retina steeds in plaats, vorm en grootte onveranderd blijft. En aan deze eischen zal immers moeten worden voldaan, wil men met eenige nauwkeurigheid nagaan, welke de invloed is van veranderingen in intensiteit en in duur der bestraling, als de eenige factoren, die wij bij onze metingen in aanmerking wenschen te doen komen.

Om voor dreuning gevrijwaard te zijn is de tafel **B** op een steenen pijler geplaatst, terwijl de wijde koker 5, zonder de kartonnen kast aan te raken, deze lichtdicht met de overige deelen van den toestel verbindt. De vlam der lamp 13 wordt met uitsluiting van alle verspreid licht in de kamer door middel van de lens 8 scherp op het vloeipapier 4 afgebeeld, terwijl de ligging van het vlammebeeld na het wegnemen van een klep 6 gemakkelijk kon worden gecontrôleerd.

Dicht achter de lens, wier brandpuntsafstand 21.6 cM. bedraagt, is een irisdiaphragma 7 aangebracht, waarmede de intensiteit der bestraling van het vloeipapier kan worden geregeld. Daar de afstand van de lamp tot de lens groot is, — ongeveer 39 cM., — mag men aannemen, dat deze laatste gelijkmatig verlicht wordt, zoodat de hoeveelheid licht, die op het vloeipapier wordt geworpen, evenredig is aan de oppervlakte der diaphragma-opening.

Buiten den verlichtingskoker steekt een stift 9 uit, die de verwijding en vernauwing van het diaphragma mogelijk maakt, zonder dat licht van buitenaf intreedt, terwijl een kleine, puntige wijzer, die aan de stift is bevestigd, en langs een graadboog schuift, gelegenheid geeft

tot de aflezing van de grootte der diaphragma-opening.

Vooraf was de wijdte van het diaphragma voor vele standen van den wijzer gemeten en aldus de schaal geijkt. Bij deze ijking gingen wij als volgt te werk. Op ongeveer 15 Meter afstand van een electrisch booglicht werd loodrecht op den gang der lichtstralen het diaphragma opgesteld, terwijl dicht tegen dit laatste aan, nauwelijks 2 of 3 millimeters er van verwijderd, een op glas gephotographeerde, netvormige millimeterschaal werd geplaatst. Het schaduwbeeld van het diaphragma op de glazen schaal mocht geacht worden gelijk en gelijkvormig aan het diaphragma zelf te zijn, daar de afstanden van de verschillende deelen zoo gekozen waren, dat er practisch een bundel evenwijdige lichtstralen door de diaphragmaopening heen op de millimeterschaal werd geworpen. Nu werd het schaduwbeeld op de millimeterschaal gemeten en wel voor iederen stand van den wijzer het viertal diameters, dat den cirkel in 8 gelijke sectoren verdeelt. Dit was noodig, daar de vorm van het irisdiaphragma niet met dien van een zuiveren cirkel overeenkwam. Iedere meting was tot op ongeveer 0.1 mM. nauwkeurig. Van de vier gemeten diameters, die onderling nimmer meer dan 0.3 mM. van elkaar verschilden, werd de gemiddelde waarde berekend en in tabel gebracht.

Hoewel bij de ijking bleek, dat er geen doode gang in de schuifinrichting aanwezig was, waarmede de diaphragma-opening werd geregeld, hebben wij toch bij het werkelijk gebruik den toestel steeds in ééne richting ingesteld, en wel door verwijding.

De aflezing der schaal geschiedde slechts tot 0,1 graad nauwkeurig, waardoor de fouten bij het meten van zeer kleine diaphragma-openingen uit den aard der zaak groot werden.

De kleinste diaphragma-openingen zijn daarom zoo min mogelijk gebruikt, terwijl ter vermijding van verkeerde gevolgtrekkingen bovendien nog bij elke opgave der bestralingsintensiteit het oppervlak der diaphragma-opening zelf. in vierkante millimeters is vermeld.

De onderstaande tabel I geeft de diaphragma-openingen in vierkante millimeters aan voor een aantal wijzerstanden en tevens de procentische fout, waarmede het bedrag dezer openingen is belast, wanneer men aanneemt, dat de aflezing van den graadboog een onzekerheid heeft van 0.1 graad.

Tabel I.

Wijzerstand.	Diaphragma-opening in vierkante millimeters.	Fout der diaphragma-opening in procenten bij een onzekerheid in den wijzerstand van 0,1°.
1	0,20	50
2	1,13	20
3	3,14	8
4	5,73	6
5	9,07	5
6	13,85	4
7	18,86	4
9	31,17	2,5
12	56,75	2
15	88,25	1,5
20	158,4	1
30	339,8	0,5
40	572,6	0,5
60	1257	0,3
97	3411	0,2

Tusschen de lamp en de lens bevinden zich een waterkamer 12 en een koker 5, welke laatste door zijn beweegbare, lichtdichte sluiting gelegenheid geeft, de lens 8 een weinig te verplaatsen en aldus het beeld van de vlam centrisch en scherp op het vloeipapier 4 in te stellen. Vóór de lens kan nog door een lichtdicht sluitende schuif 11 een gekleurd glas worden geschoven.

Als lichtbron wordt een zeer rustig en constant brandende Siemens-lamp 13 gebruikt, die door een metalen huls is omgeven, terwijl een diaphragma 14, in de huls aangebracht, zoo kan worden geplaatst, dat slechts een bundel licht uit een gelijkmatig stuk van het midden der vlam door den lichtkoker heen wordt gezonden.

Om een dreunen en ongewenscht flikkeren der vlam te vermijden, is de lamp op een andere tafel geplaatst dan de zware en snel bewegende tijdreguleeringstoestellen. De laatste staan op tafel **C**, terwijl de lamp op een niet in de figuur aangegeven wijze aan tafel **A** bevestigd is.

De duur der bestraling is als volgt geregeld. Twee even groote, ronde blikken schijven 15, wier middellijn ongeveer 56 cM. bedraagt, worden met behulp van een schroef 16 concentrisch op een as 17 bevestigd. Langs den omtrek van elke schijf is een strook blik over een lengte van 180° en ter breedte van 80 mM. weggenomen. Bevestigt men de schijven zóó ten opzichte van elkaar, dat de weggenomen strook der eene schijf juist bedekt wordt door het overblijvende deel der andere, dan blijft bij de draaiing der as 17 het licht der lamp voortdurend afgesloten. Worden de schijven echter eenige graden ten opzichte van elkaar verschoven, dan zal het licht der

lamp bij elke omdraaiing der as éénmaal gelegenheid hebben door de waterkamer en den verlichtingskoker heen het oog te bestralen.

Bedraagt de onderlinge verschuiving a graden, dan zal de hoeveelheid licht, die per omwenteling doorgelaten wordt $= \frac{a}{360}$ maal de hoeveelheid zijn, die het oog zou bereiken, wanneer gedurende een geheele omwenteling de stralen ongehinderd tot het oog werden toegelaten. Op deze wijze is men in staat met groote nauwkeurigheid de hoeveelheid licht, die op het oog moet worden geworpen, te doseeren. Bovendien zullen bij elke willekeurige waarde van a weer de grootte, de vorm en de plaats van het verlichte deel der retina onveranderd blijven, omdat daarbij steeds de geheele vlakte van het vloeipapier 4 op iedere vierkante millimeter een volkomen gelijke hoeveelheid licht zal ontvangen. Doch aan één voorwaarde wordt niet geheel voldaan; het bestraalde deel der retina wordt niet op alle plaatsen tegelijk door licht getroffen en wordt ook niet op alle plaatsen tegelijk verduisterd. Het hier bedoelde tijdsverschil moet echter bij de meest gebruikelijke omwentelingssnelheid van 0,72 seconde op een maximum van 0,013 sec. worden berekend, een bedrag, dat zooals in hoofdstuk IV nog nader zal blijken, volkomen mag worden verwaarloosd Wij hebben in onze verdere opgaven hiermede dan ook geen rekening meer gehouden, en voor den duur der verlichting eenvoudig $\frac{a}{360}$ maal den duur eener omwenteling gesteld.

Het bedrag van a wordt op een graadverdeeling afgelezen, die aan de achtervlakte van een der schijven in zoodanige afmeting is aangebracht, dat elke graad met een booglengte van ongeveer 4 mM. correspondeert en

de reguleering dus gemakkelijk tot op minder dan 0,1 graad nauwkeurig kan geschieden.

Wanneer de schijven eenmaal ten opzichte van elkaar waren gesteld en tezamen met de as in draaiing werden gebracht, verliepen er wel 10 omwentelingen, voordat de omwentelingssnelheid de gewenschte eenparigheid had verkregen. Ook zou het minder gewenscht zijn, de vrij zware snel draaiende toestellen plotseling tot stilstand te brengen, zoodat het oog, wanneer er geen bijzondere voorzorgen werden genomen, bij de wenteling der schijven steeds rhythmisch zou moeten worden geprikkeld. Om nu evenwel naar willekeur een enkelen kortdurenden lichtprikkel zonder rhythmische herhaling te kunnen aanbrengen, gingen wij als volgt te werk:

Midden in het grondvlak en het bovenvlak van een 1 cM. diepe, cylindervormige doos 18 is een as 20 draaibaar bevestigd. In fig. 1 is de doos midden doorgesneden, in fig. 2 is de doos op tweemaal grooter schaal van voren gezien, afgebeeld. Duidelijkheidshalve is hier een stuk van den wand weggebroken geteekend en de korte as 20 langer voorgesteld, dan zij in werkelijkheid is. Loodrecht op het midden der as is een tusschenschot 19 bevestigd, dat met behulp van een snarenschijf 22, een koord zonder einde 21 en een gewicht 24 in de doos kan worden rondgedraaid

Zoowel in het tusschenschot als in het grondvlak en in het bovenvlak bevindt zich op gelijken afstand van het middelpunt een 4 cM. groote cirkelvormige opening. De openingen in het grondvlak en het bovenvlak zijn recht tegenover elkaar geplaatst en laten een bundel licht door de doos passeeren, telkens wanneer de opening van het tusschenschot op de voor haar bestemde plaats

is aangekomen, en de openingen dus alle drie recht achter elkaar liggen.

In fig. 2 is afgebeeld, hoe het tusschenschot nog eenige weinige graden wentelen moet, om dezen stand te verwezenlijken, terwijl daarentegen in fig. 1 te zien is, hoe door een anderen stand van het tusschenschot de toetreding van licht in het oog wordt tegengehouden. Deze standen worden bepaald door een stift 25 en 26, die aan de snarenschijf 22 is bevestigd en tegen een stuiting 27 aanslaat. Wordt van de stift dat einde gestuit, dat in de figuur met 26 is gemerkt, dan kan het licht door de doos treden; wordt daarentegen het andere einde 25 gestuit, dan houdt de doos alle licht terug.

De stuiting 27 kan met behulp van een electromagneet 28 worden verschoven, waardoor men in staat is, het eene einde van de stift te laten doorslaan en het andere tegen te houden en zoodoende den stand van het tusschenschot willekeurig te regelen. Met voldoende duidelijkheid is uit de figuur te zien, hoe zoowel bij stroomsluiting als bij stroomopening door den electromagneet de stift telkens slechts éénmaal kan doorslaan, om na een wenteling van 180 graden opnieuw te worden gestuit. Nog dient te worden gemeld, dat door een op de teekening achterwege gelaten vang het terugslaan der stift wordt verhinderd.

Daar de omwentelingsduur der groote schijven 15 minder dan een 1 seconde bedroeg, zou er nog vrij veel van de aandacht van den waarnemer gevergd worden, wanneer deze genoodzaakt was, om zonder nadere hulpmiddelen den stroom door den electromagneet op het juiste oogenblik binnen den tijd van een omwenteling te sluiten en hem weder te openen. Maar dit bezwaar werd gemakkelijk opgelost door de stroomgeleiding van

den electromagneet behalve met behulp van den sleutel, die door den waarnemer werd gehanteerd, nog op een tweede plaats geopend te houden

Op deze tweede plaats werd de electromagneetgeleiding automatisch om de vijf omwentelingen van het schijvenpaar telkens voor een kort oogenblik gesloten. De daartoe dienende inrichting, die bij 30 en 31 in fig. 1 is afgebeeld, behoeft nauwelijks een nadere toelichting. De excentriek 30 is aan een tandrad bevestigd, dat vijfmaal langzamer draait dan de as 17, terwijl bij 31 twee koperen reepen worden voorgesteld, die telkens als de excentriek naar beneden gewenteld is, met elkaar in contact worden gebracht. De duur van het contact kan nauwkeurig worden geregeld, terwijl de open sector in het schijvenpaar op doelmatige wijze ten opzichte van de as 17 kan worden geplaatst. Daar bovendien de omwentelingssnelheid van het zeer licht geconstrueerde tusschenschot 19 niets te wenschen overlaat, kost het ten slotte geen moeite meer om een enkelen nauwkeurig gedoseerden, kortdurenden lichtprikkel op het oog aan te brengen.

De waarnemer behoeft slechts met zijn sleutel de electromagneetgeleiding te sluiten, spoedig nadat hij door het tikkend geluid bij 31 is gewaarschuwd, dat aldaar gedurende korten tijd contact heeft bestaan, terwijl hij eenige seconden later, nadat hij twee tikken bij 27 en een nieuw geluid bij 31 vernomen heeft, de geleiding opent.

De as 17, waaraan het schijvenpaar 15 bevestigd is, wordt door middel van een electromotor, voorzien van een regulateur van d'Arsonval in beweging gebracht.

Dat deze regulateur voortreffelijke diensten kan bewijzen, blijkt uit de groote gelijkmatigheid der omwentelingssnelheid van den door ons gebruikten toestel.

De omwentelingssnelheid werd gemeten met behulp van een slagenteller, die bij een gasmeter had behoord. Aan den slagenteller was een electrische schel verbonden, die door tusschenkomst van een der reeds genoemde koperen reepen 31, elke honderd wentelingen tweemaal schelde, en wel eenmaal tijdens de 95ste, en de volgende maal tijdens de 100ste omwenteling. De eerste schel had slechts de bedoeling, den waarnemer een sein te geven, ten einde zich gereed te maken, om op het juiste oogenblik van het begin der tweede schel den tijd op zijn uurwerk af te lezen. De duur van 100 omwentelingen, die gewoonlijk op ongeveer 72 seconden werd geregeld, varieerde nauwelijks 0,4 sec., waardoor dus een fout van ongeveer 0,5 % zou kunnen ontstaan. Er dient hierbij nog te worden vermeld, dat de blikken schijven elk afzonderlijk met lood evenwichtig waren gemaakt.

Het kostte vrij veel moeite, de groote, draaibare schijven door een gemakkelijk afneembare kap lichtdicht in te sluiten. Toch slaagden wij hierin volkomen, zooals een tijdens de proeven meermalen herhaalde contrôle leerde. Zoowel elk der schijven 15 als het tusschenschot 19 was op zichzelf voldoende, om alle daglicht en lamplicht van het oog af te sluiten. Wanneer niet beide schermen tegelijkertijd geopend waren, gaf de galvanometer ook bij den wijdsten stand van het diaphragma 7 nimmer eenig spoor van een photo-electrische reactie te kennen.

C. De galvanometer.

De galvanometer, die voor de proeven werd gebruikt en door Siemens en Halske te Berlijn was geleverd, was van het type Deprez-d'Arsonval. Bij een betrekkelijk groote gevoeligheid heeft dit instrument de voortreffelijke eigenschap, om een van aardmagnetisme en andere uitwendige invloeden onafhankelijken, nagenoeg onveranderlijken evenwichtsstand te vertoonen, terwijl ook de gevoeligheid slechts in zeer geringe mate aan wijziging onderhevig is.

Bovendien bleek de elastische nawerking van den draad, waaraan de beweegbare klos bevestigd was, meestal onmerkbaar te zijn, zoodat zij volkomen kan worden verwaarloosd. Na een uitslag van 500 mM, die gedurende vijf minuten constant werd gehouden, keerde het spiegelbeeld met een grootste afwijking van 0,2 mM. of 0,04 % tot zijn oorspronkelijk nulpunt terug.

De aflezing geschiedde met behulp van kijker, glazen schaal en spiegelreepen naar de vroeger reeds herhaaldelijk in het physiologisch laboratorium toegepaste methode van Prof. Kamerlingh Onnes (XLII)[1]).

De afstand van de schaal tot den galvanometer bedroeg slechts 2,342 M., en daar de kijker sterk vergrootte, kon de millimeterverdeeling nauwkeurig en scherp worden waargenomen, zoodat aflezingsfouten van 0,1 mM. niet behoefden voor te komen.

De galvanometer en de tafel, waarop zich de schaal en de kijker bevonden, stonden op een geïsoleerden pijler.

[1]) Zie over de toepassing dezer methode ook het proefschrift van K. de Lint. (XLIII).

Toch was nog de invloed van de dreuning van den bodem bemerkbaar op de beweging van den galvanometerspiegel, die vrij regelmatige schommelingen om een horizontale as vertoonde. Doch deze beweging leverde geen bezwaar op, daar het nulpunt hierbij geheel onveranderd bleef. Waarschijnlijk was de electromagnetische demping voldoende, om alle trilling in horizontale richting tegen te houden. Deze demping, die steeds zeer sterk was, varieerde al naar gelang van den weerstand, dien de keten bezat, waarin de galvanometer was opgenomen.

Was deze weerstand ∞, of was m. a. w. de galvanometerketen geopend, dan bleef nog de electromagnetische demping over, die door de draaiing van het metalen raam van den beweegbaren klos werd veroorzaakt. De weerstand in dit raam was in verband met de sterkte van het magnetische veld, waarin het draaide, zoo gekozen, dat bij open galvanometerketen de dempingsverhouding $= 7$ was, terwijl een halve schommeling in 8,6 sec. werd volbracht.

In de onderstaande tabel II vindt men den halven schommeltijd en de dempingsverhouding van den galvanometer vermeld voor verschillende weerstanden der galvanometerketen. De aangegeven schommeltijden hebben betrekking op groote uitslagen van 500 mM. en meer.

Tabel II.

Weerstand der galvanometerketen in Ohms	Halve schommeltijd in seconden.	Dempingsverhouding.
∞	8,6	7
100 000	8,8	10
60 000	9,2	14
30 000	10,8	36
20 000	14,2	250
10 000	35	∞

218	Het verschil tusschen den berekenden einduitslag en de werkelijk volbrachte beweging bedroeg na een vol kwartier nog verscheidene procenten.

Daar bij ons onderzoek de onpolariseerbare electroden tezamen met het kikvorschenoog een grooter weerstand dan 10 000 Ohm bezaten, kon de galvanometer meestal reeds zonder toevoeging van bijzondere weerstanden bij doelmatige demping en niet te groote schommelperiode worden gebruikt.

De weerstand van den beweegbaren klos bedroeg 218 Ohm, terwijl een afzonderlijk in het instrument gebrachte weerstand, die achter den klos kon worden geschakeld, 9852 Ohm vertegenwoordigde. De gevoeligheid van den galvanometer bleek uit den uitslag van 1 mM. voor $3{,}654 \times 10^{-10}$ Ampère

Van bijzondere beteekenis is de vraag naar de evenredigheid der galvanometeruitslagen aan de stroomsterkten. Wij hebben het bestaan dezer evenredigheid eerst onderzocht naar de methode van Boccali, (zie bijv. XLIII, blz. 24) en nadat langs dezen weg aangetoond was, dat zij op verschillende plaatsen der schaal groote afwijkingen vertoonde, hebben wij een tweede methode toegepast,

die ons in staat stelde, de bedoelde afwijkingen nauwkeurig te leeren kennen en te corrigeeren.

Boccali zendt achtereenvolgens drie stroomen door den galvanometer, hiervan heeft de laatste een sterkte, die gelijk is aan de som der sterkten van de beide eerste stroomen. Bestaat er evenredigheid tusschen de stroomsterkten en de galvanometeruitslagen, dan moet ook de laatste uitslag gelijk zijn aan de som der beide eerste.

In tabel III vindt men de uitkomsten vermeld van een aantal zoodanige metingen, die op verschillende plaatsen der schaal zijn verricht. De uitslagen hadden steeds van het midden der schaal naar rechts plaats.

Tabel III.

Eerste uitslag in millimeters. A.	Tweede uitslag in millimeters. B	Voor den derden uitslag *berekend* in millimeters. A+B.	Voor den derden uitslag *gevonden* in millimeters. C.	Verschil tusschen de gevonden en de berekende waarden in millimeters. A+B−C.
51,3	51,3	102,6	101,7	0,9
„	101,7	153,0	149,7	3,3
„	149,7	201,0	196,1	4,9
„	196,1	247,4	243,7	3,7
„	243,7	295,0	293,1	1,9
„	293,1	344,4	343,7	0,7
„	343,7	395,0	393,4	1,6
„	393,4	444,7	443,3	1,4
„	443,3	494,6	492,5	2,1

De tabel behoeft geen nadere toelichting. Men ziet uit de laatste kolom, dat het verschil tusschen de gevonden en de berekende waarde enkele malen zelfs tot nagenoeg 4 en 5 mM. stijgt, en dus een bedrag bereikt, dat te groot is om verwaarloosd te mogen worden.

Om de afwijkingen van de evenredigheid in zoodanigen vorm te leeren kennen, dat zij gemakkelijk konden worden gecorrigeerd, gingen wij als volgt te werk.

De weerstand der galvanometerketen werd verhoogd tot 1 Megohm en daarna door het instrument een stroom geleid, welks sterkte nauwkeurig kon worden geregeld. Daartoe werd een accumulator geleidend verbonden met twee weerstandsbanken, die achter elkaar waren geschakeld. Terwijl de gezamenlijke weerstand der beide rheostaten steeds op 2000 Ohm werd gehouden, werd van twee punten A en B van het stelsel, tusschen welke de weerstand 1, 2, 3, enz. Ohm bedroeg, een stroom naar den galvanometer afgeleid. Stelt men de electromotorische kracht van den accumulator op 2 Volt, dan werd dus de galvanometer achtereenvolgens doorstroomd met stroomen van 1, 2, 3 enz. maal 10^{-9} Ampère. De weerstand tusschen de punten A en B werd met de bedoeling om de rheostaten te controleeren, op verschillende wijze tot stand gebracht. Zoo werd bijv., wanneer 40 Ohm moest worden gebruikt, een waarneming verricht, waarbij tusschen A en B de stop 40 verwijderd was, een tweede waarneming, waarbij de stoppen $30 + 10$, en een derde, waarbij de stoppen $20 + 10 + 4 + 3 + 2 + 1$ waren weggenomen.

Bij een der beide weerstandsbanken kon geen fout worden aangetoond, terwijl bij de andere slechts kleine verschillen in den galvanometeruitslag voor den dag kwamen.

In de onderstaande tabel IV zijn de resultaten van een reeks van waarnemingen vereenigd. De uitslagen waren weder naar rechts gericht, evenals dat bij alle verdere metingen in den loop van ons onderzoek het geval was. Naast de gevonden uitslagen in kolom 2 vindt men de berekende in kolom 3 vermeld. De berekening is gebaseerd op den grootsten uitslag van 494,9 mM.

Tabel IV.

Stroomsterkte in duizendsten van een micrampère.	Galvanometeruitslag in millimeters		Verschil tuschen de gevonden en de berekende waarden in millimeters.	Stroomsterkte in duizendsten van een micrampère.	Galvanometeruitslag in millimeters.		Verschil tusschen de gevonden en de berekende waarden in millimeters.
	gevonden.	berekend.			gevonden.	berekend.	
1	2.9	2,7	+ 0,2	64	175,5	175,0	+ 0,5
2	5 8	5,5	+ 0,3	66	180,7	180,5	+ 0,2
3	8,6	8,2	+ 0,4	68	185,9	185,9	0,0
4	11,3	10,9	+ 0,4	70	191,0	191,4	— 0,4
5	14,2	13,7	+ 0,5	72	196,0	196,9	— 0,9
6	17,1	16,4	+ 0,7	74	201,3	202,3	— 1,0
7	20,0	19,1	+ 0,9	76	206,5	207,8	— 1,3
8	22,9	21,9	+ 1,0	78	211,8	213,3	— 1,5
9	25,8	24,6	+ 1,2	80	217,0	218,7	— 1,7
10	28,7	27,3	+ 1,4	82	222,4	224,2	— 1,8
11	31,4	30,1	+ 1,3	84	227,7	229,7	— 2,0
12	34,2	32,8	+ 1,4	86	233,0	235,1	— 2,1
13	37,1	35,5	+ 1,6	88	238,5	240,6	— 2,1
14	40,0	38,3	+ 1,7	90	243,9	246,1	— 2,2
15	42,9	41,0	+ 1,9	92	249,4	251,6	— 2,2
16	45,8	43,7	+ 2,1	94	254,8	257,0	— 2,2
17	48,7	46,5	+ 2,2	96	260,2	262,5	— 2,3
18	51,4	49,2	+ 2,2	98	265,8	268,0	— 2,2
19	54,3	52,0	+ 2,3	100	271,2	273,4	— 2,2
20	57,1	54,7	+ 2,4	103	279,3	281,6	— 2,3
21	60,0	57,4	+ 2,6	106	287,7	289,8	— 2,1
22	62,9	60,2	+ 2,7	109	296,1	298,0	— 1,9
23	65,7	62,9	+ 2,8	112	304,4	306,2	— 1,8
24	68,4	65,6	+ 2,8	115	312,9	314,4	— 1,5
25	71,2	68,4	+ 2,8	118	321,3	322,6	— 1,3
26	74,1	71,1	+ 3.0	121	329,8	330,8	— 1,0
27	76,9	73,8	+ 3,1	124	338,1	339,0	— 0,9
28	79,7	76,6	+ 3,1	127	346,7	347,3	— 0,6
29	82,3	79,3	+ 3,0	130	355,1	355,5	— 0,4
30	85,1	82,0	+ 3,1	133	363,2	363,7	— 0,5
32	90,8	87.5	+ 3,3	136	371,7	371,9	— 0,2
34	96.2	93,0	+ 3,2	139	379,9	380,1	— 0,2
36	101,7	98,4	+ 3,3	142	388,1	388,3	— 0,2
38	107,1	103,9	+ 3,2	145	396,2	396,5	— 0,3
40	112,3	109,4	+ 2,9	148	404,7	404,7	0,0
42	117,8	114,8	+ 3,0	151	412,9	412,9	0,0
44	123,1	120,3	+ 2,8	154	421,2	421,1	+ 0,1
46	128,3	125,8	+ 2,5	157	429,4	429,3	+ 0,1
48	133,8	131,2	+ 2,6	160	437,7	437,5	+ 0,2
50	139,0	136,7	+ 2.3	163	446,0	445,7	+ 0,3
52	144,2	142,2	+ 2,0	166	454,1	453,9	+ 0,2
54	149,4	147,6	+ 1,8	169	462,2	462,1	+ 0,1
56	154,8	153,1	+ 1,7	172	470,4	470,3	+ 0,1
58	160,0	158,6	+ 1,4	175	478,6	478,5	+ 0,1
60	165,2	164,1	+ 1,1	178	486,8	486,7	+ 0,1
62	170,3	169,5	+ 0,8	181	494,9	494,9	0,0

voor een stroom van 181×10^{-9} Ampère en gaat uit van de veronderstelling, dat de uitslagen evenredig zijn aan de stroomsterkten.

De correctie voor de afwijkingen van de evenredigheid kan nu gemakkelijk worden aangebracht. Op millimeterpapier worden in een coördinatenstelsel de gevonden uitslagen langs de as der abscissen afgezet, terwijl de verschillen tusschen de gevonden en de berekende waarden tien maal vergroot langs de as der ordinaten worden afgemeten. De aldus verkregen kromme leert in een oogopslag, welke waarde aan iederen gevonden galvanometeruitslag moet worden toegekend. Zij werd boven het oculair van den afleeskijker geplaatst en bij het werk werd iedere schaalaflezing onmiddellijk gecorrigeerd en eerst daarna geboekt.

De correcties zijn ook toegepast op de acht dagen vroeger verkregen uitkomsten van tabel III, terwijl men in tabel V kan zien, hoezeer daardoor de nauwkeurigheid van het resultaat is toegenomen. De grootste afwijking tusschen de gevonden en de berekende waarde bedroeg vóór de correctie volgens tabel III 4,9 mM., en bedraagt na toepassing der correctie volgens tabel V slechts 0,4 mM.

Helaas veranderde de afwijking der evenredigheid wel is waar zeer langzaam, maar toch merkbaar, waarom wij in den loop van ons onderzoek den galvanometer herhaaldelijk hebben geijkt.

Tabel V.

Uitslagen in millimeters, gecorrigeerd volgens tabel IV.		Voor den derden uitslag *berekend*, in millimeters.	Voor den derden uitslag *gevonden*, in millimeters en gecorrigeerd volgens tabel IV.	Verschil tusschen de berekende en gevonden waarden in millimeters.
Eerste uitslag.	Tweede uitslag.			
A_1	B_1	$A_1 + B_1$	C_1	
49,1	49,1	98,2	98,5	+ 0,3
„	98,5	147,6	147,9	+ 0,3
„	147,9	197,0	197,0	0,0
„	197,0	246,1	246,1	0,0
„	246,1	295,2	295,0	− 0,2
„	295,0	344,1	344,2	+ 0,1
„	344,2	393,3	393,5	+ 0,2
„	393,5	442,6	442,7	+ 0,1
„	442,7	491,8	492,2	+ 0,4

D. De stroomverdeeling.

Men vindt de stroomverdeeling, die bij onze proeven werd toegepast, afgebeeld in fig. 4 der plaat, die nauwelijks eenige nadere toelichting behoeft. *E* stelt een accumulator voor, die een stroom zendt door de rheostaten *R* en *r*, terwijl van den laatstgenoemden twee draden zijn afgeleid, die naar de methode van E. du Bois-Reymond den ruststroom van het oog in den galvanometer compenseeren. De weerstand van *R* bedroeg gewoonlijk 100 000 Ohm, terwijl voor *r* een dekaden kruk-rheostaat van Hartmann en Braun gebruikt werd, welks weerstand zeer snel en gemakkelijk kon worden geregeld.

De voordeelen van een dergelijke weerstandsbank boven den gewonen stoppen-rheostaat zijn groot, terwijl het nadeel van de onnauwkeurigheid of onzekerheid der sleepcontacten bij ons werk nauwelijks in aanmerking kon komen. Wij schatten de fout, die door de sleepcontacten in het bedrag kon worden veroorzaakt, dat voor de electromotorische kracht van het rustende oog werd gevonden, op niet meer dan 0,001 millivolt, terwijl deze contacten uit den aard der zaak geen invloed uitoefenden op de resultaten der meting van den actiestroom.

Met de beschreven inrichting waren wij niet alleen in staat, om den ruststroom van het oog te leeren kennen en te compenseeren, doch tevens om den weerstand der keten, waarin zich het oog en de galvanometer bevonden, nauwkeurig te meten. Daartoe behoefde slechts bij gecompenseerden ruststroom plotseling een verandering in den weerstand van r te worden aangebracht. Uit het bedrag dezer weerstandsverandering laat zich in verband met het potentiaalverschil in E en de weerstanden in R en r het potentiaalverschil e berekenen, waardoor een stroom door de galvanometerketen wordt gedreven. Daar de gevoeligheid van den galvanometer bekend is, wordt door den galvanometeruitslag de stroomsterkte i aangegeven en de gezochte weerstand w is dan

$$w = \frac{e}{i}$$

Aan de isolatie werd bijzondere zorg besteed. De galvanometer, weerstandsbanken en ebonieten wippen hadden onderlagen van glas, terwijl ook de door guttapercha omgeven geleiddraden langs glazen isolatoren waren gespannen.

Alleen bij hooge uitzondering, en wel bij buitengewoon vochtig weder, deden zich stoornissen in de stroomge-

leiding voor, die dan in hoofdzaak moesten worden toegeschreven aan de vochtige ebonieten wippen, op welker oppervlakten zich electromotorische krachten ontwikkelden.

E. De electroden.

Om den electrischen stroom van nauwkeurig bepaalde, zeer kleine plaatsen van het bulbusoppervlak of van den mantel of de dwarse doorsnede der korte, dunne oogzenuw te kunnen afleiden moesten wij over fijne electroden beschikken. De gebruikelijke klei-electroden voldeden niet, terwijl de in klei geplante en in Na Cl-oplossing gedrenkte wollen of katoenen draden, die herhaaldelijk en met goed succes bij het onderzoek naar de electromotorische verschijnselen van het hart zijn gebruikt, voor ons doel te buigzaam en te slap waren. Dit laatste bezwaar was niet aanwezig bij ontvette varkens- of menschenharen doch deze hadden weder het nadeel van te grooten weerstand. Beter voldeden ontvette vioolsnaren, doch ook hiermede hebben wij slechts eenige weinige metingen verricht, daar zij bij kleine verplaatsingen en verschuivingen dikwijls aanleiding gaven tot de ontwikkeling van vrij hooge en vrij sterk wisselende electromotorische krachten, die in de electroden zelve haar zetel bleken te hebben. Wij zijn daarom tot de directe klei-electroden van E du Bois-Reymond teruggekeerd, en hebben getracht, aan deze een zoodanigen vorm te geven, dat men met fijne draadjes van klei iedere gewenschte plaats van het oog kan bereiken. Fig. 3 doet zien, hoe zij zijn vervaardigd.

Het ondereinde van een glazen buis past nauwkeurig in een geslepen glazen stolp, welke in het midden van haar bolle zijde een opening van ongeveer 1 mM. middellijn bezit. Het buisuiteinde wordt met een stuk zinksulfaat-klei gesloten, terwijl in de stolp een stuk NaCl-klei wordt geperst. Perst men met de vingers de klei stevig in de stolp, dan komt er uit de opening aan haar bolle zijde een lange draad klei te voorschijn, met een middellijn van ongeveer 1 mM. Door het buisuiteinde in de stolp te schuiven brengt men de zinksulfaatklei met de keukenzout-klei in innig contact, terwijl de kleidraad van doelmatige consistentie en niet te grooten weerstand onmiddellijk met den bulbus in verbinding kan worden gebracht. De buis wordt onder vermijding van luchtbellen gevuld met een verzadigde $ZnSO_4$-oplossing, die om een mogelijke overmaat van zwavelzuur te neutraliseeren, vooraf met zinkoxyde wordt gekookt, terwijl de zinkstaaf, die in de oplossing wordt gedompeld, dagelijks opnieuw kan worden geämalgameerd. Een aan de zinkstaaf bevestigde ebonieten kraag sluit de buis van boven af.

Al naar gelang de kleidraden korter of langer genomen worden, verandert uit den aard der zaak de weerstand der electroden, die zooals door herhaalde metingen werd aangetoond, tijdens ons onderzoek gewoonlijk ruim 10000 Ohm bedroeg.

De electroden zoowel als het oog worden in de vochtige kamer elk aan een afzonderlijk glazen statief bevestigd, dat uit een staaf met een daaraan vastgesmolten kom bestaat, terwijl het op een ebonieten voet rust, zie fig. 1 der plaat. De kom is met paraffinum liquidum gevuld, waardoor de isolatie in de vochtige kamer wordt gewaarborgd.

De bevestiging van elk der electroden aan haar statief geschiedt door middel van een klem met twee ballen, die een zeer excursieve beweging mogelijk maken, terwijl het oog vast op een ring komt te liggen, die van een dunnen kleidraad is vervaardigd en op een gewoon objectglas is vastgekleefd.

DERDE HOOFDSTUK.

Ruststroom en Actiestroom.

In de volgende tabellen (VI, VII en VIII) worden de uitkomsten medegedeeld van eenige metingen van den ruststroom. Het potentiaalverschil wordt positief genoemd, wanneer de cornea of een plaats dicht bij de cornea positief is ten opzichte van een plaats, die verder van de cornea af is gelegen.

De waarnemingen uit de tabellen (VI en VII) werden verricht met onpolariseerbare electroden, die door middel van stukjes ontvette, in keukenzoutoplossing gedrenkte vioolsnaar met het oog in verbinding werden gebracht. Bij de waarnemingen van tabel (VIII) en bij alle overige waarnemingen, waren deze vervangen door draadjes van klei. De stukjes vioolsnaar schenen zelve reeds wisselende electromotorische krachten te ontwikkelen, en werden daarom later niet meer gebruikt. Toch behoeven de metingen met de vioolsnaar-electroden nog

Tabel VI.

1	2	3	4
Plaatsen van waar de stroom wordt afgeleid, zie de plaat, fig 5.	Potentiaalverschil tusschen de beide tegen elkaar gedrukte electroden in millivolts.	Het direct gemeten bedrag van het totale potentiaalverschil in millivolts	Potentiaalverschil tusschen de plaatsen van het oog, van waar de stroom wordt afgeleid, in millivolts.
	p_1	P.	$p_2 = P - p_1$
1 en 2	+ 0,08	+ 3,82	3,74
1 en 4	— 0,08	+ 7,10	7,18
1 en 6	— 0,18	+ 6,35	6,53
1 en 10	— 0,29	+ 7,44	7,73
1 en 2	— 0,40	+ 3,60	4,00
1 en 7	— 0,47	+ 6,69	7,16
1 en 9	— 0,56	+ 6,66	7,22

Tabel VII.

1	2	3	4
9 en 8	— 0,48	— 0,12	+ 0,36
9 en 5	— 0,28	+ 0,76	+ 1,04
9 en 3	+ 0,34	+ 1,96	+ 1,62
9 en 2	+ 1,14	+ 6,52	+ 5,38
9 en 1	+ 1,40	+ 5,40	+ 4,00

Tabel VIII.

1	2	3	4
1 en 10	+ 0,07	+ 9,13	+ 9,06
1 en 8	+ 0,04	+ 7,16	+ 7,12
1 en 7	+ 0,035	+ 6,12	+ 6,085
1 en 6	+ 0,075	+ 6,09	+ 6,015
1 en 4	+ 0,10	+ 6,00	+ 5,90

niet als waardeloos te worden terzijde gelegd, daar immers hare eigene electromotorische krachten gemakkelijk in rekening kunnen worden gebracht. Om deze laatste te meten werden de electroden vóór en na iedere waarneming van den ruststroom tegen elkaar aangelegd. Noem het gemiddeld bedrag der aldus gevonden electromotorische krachten der electroden p_1 (zie kolom 2 der bovenstaande tabellen), en noem de directe uitkomst van de meting van den ruststroom P (kolom 3) dan is het werkelijk potentiaalverschil tusschen de onderzochte plaatsen in het oog $p_2 = P - p_1$ (kolom 4).

Zooals uit tabel VIII blijkt, zijn de electromotorische krachten, die in de electroden met den kleidraad ontwikkeld worden, slechts zeer klein

In het algemeen toonen de tabellen aan, dat het potentiaalverschil tusschen twee plaatsen van het oog grooter wordt, al naarmate de eene plaats dichter bij de cornea, de andere dichter bij de dwarse doorsnede der zenuw gekozen wordt. In tabel (VI) wordt echter een uitzondering gemaakt door plaats 4, die negatief is ten opzichte van de plaatsen 2 en 6. Hier zou dus een negatieve zône aanwezig zijn, zooals die door H o l m g r e n is beschreven. Later werd van vijf andere oogen, die wij onderzochten, nog slechts één gevonden, dat een dergelijke zône bleek te bezitten.

De bulbi waren steeds zooveel mogelijk van spierresten ontdaan en werden in het daglicht onderzocht. Gedurende de proef nam de ruststroom eerst snel en daarna allengs langzamer in intensiteit af. Hij keerde niet of eerst zeer lang na afloop der proefnemingen om, zoo zelfs, dat oogen die 24, 33 en 40 uur na de exstirpatie onderzocht werden, nog een duidelijken ruststroom in de normale richting vertoonden.

Thans komen wij aan de vraag, van welke plaatsen afgeleid moet worden om tot den sterksten actiestroom aanleiding te geven. Men vindt het antwoord weergegeven in de tabellen IX en X.

Tabel IX.

Plaatsen van waar de stroom wordt afgeleid, zie de plaat fig. 5	Uitslag van den galvanometer bij plotselinge verlichting van het oog in millimeters.	Weerstand der keten in Ohms.
2 en 10	58,5	50600
2 en 6	11,9	
2 en 7	12,0	
2 en 3	3,8	51000
2 en 2	— 2,0	
2 en 10	15,0	51000
Zenuw afgeknipt.		
Plaatsen van afleiding:		
2 en lamina cribrosa	40,6	49000

Tabel X.

Plaatsen van waar de stroom wordt afgeleid, zie de plaat, fig. 5.	Uitslag van den galvanometer bij plotselinge verlichting van het oog, in millimeters.	Uitslag van den galvanometer bij plotselinge verduistering van het oog, in millimeters.	Weerstand der keten in Ohms.
10 en 9	— 1,0	— 0,4	67000
10 en 9	— 1,0	— 0,4	—
10 en 8	— 1,8	— 0,8	65000
10 en 6	+ 4,9	+ 2	65000
10 en 4	+ 4,8	+ 2	66000
10 en 3	+ 6,0	+ 2	77000
10 en 2	+ 6,4	+ 2	72000
10 en 1	+ 10,5	+ 2,9	71000
10 en 1	+ 12,3	+ 1,9	75000
Zenuw afgeknipt. Plaatsen van afleiding:			
1 en lamina cribrosa	14,0	2	74000

De verplaatsing der electroden, waarbij de weerstand in de geheele keten, zooals uit de tabellen blijkt, slechts weinig veranderde, geschiedde zoo vlug mogelijk in het daglicht. Daarna werd telkens de donkere kamer weder over het oog geplaatst en 5 minuten gewacht, voordat het oog ten behoeve der meting werd bestraald.

Men ziet, dat dezelfde regel, die reeds bij het meten van den ruststroom ter sprake kwam, ook voor den actiestroom geldt. In het algemeen is bij gelijken prikkel de actiestroom des te sterker, naarmate de eene electrode dichter bij de cornea, de andere dichter bij de dwarse doorsnede der oogzenuw wordt aangelegd.

Bovendien kan men opmerken, dat de sterkste stroom wordt verkregen, nadat de nervus opticus is afgeknipt en eene der electroden op de lamina cribrosa is geplaatst.

Bij afleiding van de dwarse doorsnede en van den mantel der zenuw, (van 10 en 9 en van 10 en 8, zie fig. 5 der plaat) komt de actiestroom van den nervus opticus zelf voor den dag, een stroom, die, zooals te verwachten was, en zooals ook reeds door Kühne en Steiner is aangetoond, tegengesteld aan den bulbusstroom is gericht.

Ten slotte merken wij nog op, dat de plotselinge verduistering van het oog een prikkel blijkt te zijn, die, hoewel aanzienlijk veel zwakker, toch steeds in gelijken zin werkt als de plotselinge verlichting.

Over den vorm der electriciteitsbeweging bij den actiestroom.

Met den door ons gebruikten galvanometer konden wij bij het onderzoek naar den vorm der electriciteitsbeweging tijdens een actiestroom, de resultaten, die door Kühne en Steiner en door Waller zijn verkregen, volkomen bevestigen. Het tweede en derde stadium van Waller bestudeerden wij echter weinig, daar wij voor ons doel de voorkeur gaven aan een onvermoeid oog, dat in het eerste stadium verkeerde. Slechts bij hooge uitzondering namen wij afwijkende vormen der photo-electrische reactie waar, die dan met een dubbelen negatieven voorslag begon.

Maar wij zijn er ons van bewust, dat de gebruikte galvanometer veel te traag is, om den werkelijken vorm der electriciteitsbeweging nauwkeurig te leeren kennen. Alleen omdat de meetinstrumenten, die door de vroegere onderzoekers gebruikt werden, een schommelperiode bezaten, die niet veel van de schommelperiode van onzen eigen galvanometer verschilde, stemmen onze resultaten met de hunne overeen. Want wenscht men met nauwkeurigheid den werkelijken vorm der electriciteitsbeweging te leeren kennen, dan moet men óf gebruik maken van een zeer snel aanwijzend meetinstrument óf wel aan een inrichting de voorkeur geven, die naar de principes van Bernstein's rheotoom is geconstrueerd.

Onder de snelst aanwijzende meetinstrumenten behoort de capillair-electrometer, doch deze is voor de nauwkeurige meting van de zwakke retina-stroomen, waarmede wij hoofdzakelijk wenschten te werken, nauwelijks gevoelig genoeg. Waarschijnlijk is hij om dezelfde reden ook door geen der vorige onderzoekers aangewend. De nieuwe snaargalvanometer belooft meer, doch dit werktuig was nog niet gereed, toen ik mijn onderzoek aanving.

De rheotoom-methode is door Fuchs toegepast. Zooals in het historisch overzicht van dit proefschrift reeds is uiteengezet, verkrijgt deze onderzoeker resultaten, die in hooge mate van die der overige onderzoekers en ook van de onze afwijken. En wij moeten hier voornamelijk nog terugkomen op den door hem gevonden duur der totale photo-electrische reactie. Hij bepaalt dezen op 0,0230 tot 0,0241 sec. en vergelijkt hem met den duur van het positieve nabeeld in het menschelijk oog, welke laatste zelfs nog 3 tot 4 maal langer gevonden wordt.

Beschouwt men daartegenover een kromme van Waller,

bijv. die op (XXX) p. 139. fig. 11, dan is het duidelijk, dat na momentane verlichting van het oog, de galvanometerspiegel een langzame, *in snelheid geleidelijk toenemende* beweging maakt. Eerst na eenige seconden neemt de bewegingssnelheid van den spiegel af. Daarna komt hij langzaam tot stilstand, om ten slotte naar het 0-punt terug te keeren.

Men kan met zekerheid verklaren, dat gedurende de toeneming van de bewegingssnelheid van den spiegel, een photo-electrische reactie aanwezig was. Deze moet dus minstens eenige volle seconden hebben geduurd.

Onze eigen waarnemingen deden ons meermalen, vooral bij sterkere momentprikkels, photo-electrische reacties kennen, welker duur met zekerheid op minstens 30 volle seconden moest worden gesteld. Bij zwakke momentprikkels werd deze tijd wel zeer veel korter, maar hij bleef toch steeds verscheidene seconden bedragen.

Daar Fuchs met geïsoleerde retinae werkte, en onze metingen aan geheele bulbi werden verricht, zou men wellicht kunnen meenen, dat door het verschil van het onderzochte orgaan het verschil in uitkomst kon worden verklaard. Ten einde echter op dit punt volkomen zekerheid te verkrijgen, hebben wij ook eenige proeven met geïsoleerde retinae genomen.

Zooals te verwachten was, kwamen hare photo-electrische reacties geheel met die van ongeschonden bulbi overeen. Verscheidene malen werd na een momentverlichting die slechts 0,06 sec. duurde, een galvanometeruitslag waargenomen, waarbij de spiegel eerst na 23 sec. weer zijn 0-stand bereikte. De schommelperiode van den galvanometer bedroeg ongeveer 8 sec., zoodat de duur der photo-electrische reactie minstens 23—8 = 15 sec. moet zijn geweest.

Bij sterkere momentprikkelingen werden herhaaldelijk photo-electrische reacties geconstateerd, welker duur langer dan een halve minuut was In dit opzicht kon geen verschil tusschen de bulbi en de geïsoleerde retinae worden gevonden.

Hoe Fuchs tot geheel andere uitkomsten werd geleid, kan niet gemakkelijk worden verklaard. De wijze waarop hij de metingen verrichtte, is zoo samengesteld, dat men geneigd is te vragen, of de technische moeilijkheden ondanks de groote voorzorgen, door Fuchs genomen, wel volledig overwonnen zijn?

VIERDE HOOFDSTUK.

Kortdurende retina-verlichting.

Wanneer men zwarte en witte sectoren aanbrengt op een draaischijf, zooals die bij de kleurmenging wordt gebruikt, dan zal men bij snelle ronddraaiing der schijf het wit en zwart zien samensmelten. De schijf zal den indruk maken van volkomen gelijkmatig te zijn verlicht en wel een helderheid vertoonen, die bepaald wordt door de helderheid der witte sectoren en de verhouding van de grootte der witte tot die der zwarte.

Is de helderheid der witte sectoren $= I$, en de verhouding van de grootte der witte tot die der zwarte $= \frac{w}{z}$, dan is de schijnbare helderheid der schijf $i = I \times \frac{w}{w+z}$.

Dit verschijnsel, dat de wet van Talbot genoemd wordt, is onafhankelijk van de absolute lichtsterkte en de absolute grootte der sectoren en ook onafhankelijk van de omwentelingssnelheid der schijf, indien slechts

de afwisseling van wit en zwart snel genoeg geschiedt, zoodat een witte en een zwarte sector tezamen steeds binnen den tijd van 0,04 sec. voorbij een stilstaanden radius worden heengedraaid.

Uit deze wet van Talbot kan men afleiden, dat voor een korten prikkelingstijd de intensiteit der gewaarwording geheel bepaald wordt door de energie in den lichtprikkel bevat. Hoe grillig ook de lichtintensiteit in den loop van den bedoelden korten tijd mag wisselen, de intensiteit der gewaarwording zal onveranderd blijven, wanneer slechts de gezamenlijke lichtenergie hetzelfde bedrag bereikt.

Wij hebben het niet overbodig geacht, deze conclusie direct experimenteel te toetsen. Voor zoover ons bekend is, heeft men tot nog toe alleen de contrôle trachten uit te voeren voor lichtprikkels die juist de drempelwaarde bereikten, welke voor een gewaarwording noodig is.

Zoo vond Bloch, (geciteerd naar XLIV) dat een lichtprikkel, die 0,00173 sec. werkte, sterker moest zijn om nog te kunnen worden waargenomen, dan een lichtprikkel, welks duur 0,0518 sec. bedroeg, en wel zoo, dat de benoodigde lichtintensiteiten juist omgekeerd evenredig waren aan den verlichtingsduur, terwijl later door Charpentier[1]) volgens andere methoden van onderzoek volkomen dezelfde resultaten werden verkregen (XLIV).

Teneinde de conclusies van Bloch en Charpentier bij gebruik van sterkere, ver boven de drempelwaarde reikende prikkels te contrôleeren, gingen wij aldus te werk :

Om een horizontale as konden twee witte vlakken *a* en *b*, die aan een straal *R* bevestigd waren, met regelmatige snelheid worden rondgedraaid. Vóór den straal *R*

[1]) Zie ook Ch. Henry. (XLV).

was een zwart scherm opgesteld met twee boven elkaar geplaatste openingen, a_1 en b_1, en wel zóó, dat bij iedere wenteling van den straal het vlak a juist achter de opening a_1, het vlak b juist achter de opening b_1 schoof.

Behalve op het oogenblik, dat de witte en door sterk licht bestraalde vlakken zich achter de beide schermopeningen bevonden, zag de waarnemer door deze openingen heen op een zwarten achtergrond. Hij ontving dus in een donker veld telkens bij iedere omwenteling van den straal plotseling twee sterke, dicht boven elkaar geplaatste lichtprikkels, waarvan hem de bovenste door a_1, de onderste door b_1 bereikte

De omwentelingssnelheid van den straal bleef constant, terwijl de verlichtingsintensiteiten van de vlakken a en b elk afzonderlijk naar willekeur geregeld konden worden. Verder werden aan het vlak a vaste afmetingen gegeven, terwijl daarentegen de afmetingen van het vlak b konden worden gevarieerd, waardoor dus aan den bovensten prikkel een onveranderlijken, aan den ondersten een veranderlijken duur gegeven werd.

De bovenste prikkel duurde 0,001 sec.

Werd nu aan den ondersten prikkel een duur gegeven, die onder het bedrag van 0,04 sec. bleef, dan konden, bij doelmatig gekozen verlichtingsintensiteit van b, de lichtgewaarwordingen die door a en b werden verwekt, geheel aan elkaar gelijk worden gemaakt. De verlichtingsintensiteit van b werd door een soortgelijke inrichting als bij 7 is afgebeeld, (zie fig. 1 der plaat) stelselmatig verzwakt.

Als resultaat der metingen kan worden medegedeeld, dat de conclusie, die wij boven uit de wet van Talbot hebben afgeleid, in voldoende mate wordt bevestigd.

De gewaarwordingen verkrijgen gelijke intensiteit, telkens wanneer het product $I \times t$ gelijk is, waarbij I de intensiteit en t den duur van den lichtprikkel voorstelt, terwijl het product $I\,t$ de maat is voor de prikkelingsenergie.

Een prikkeling, die binnen den tijd valt, waarin deze regel geldigheid heeft, mag *momentprikkel*, de verlichting van dezen duur *momentverlichting* worden genoemd.

Na de bovenstaande uiteenzettingen moeten wij ons de vraag stellen: geldt dezelfde wet van den momentprikkel ook voor de photo-electrische reactie van het kikvorschenoog? Met andere woorden, wordt bij een kleinen prikkelingstijd de intensiteit der photo-electrische reactie eveneens volkomen bepaald door het totale bedrag der lichtenergie, hoe grillig ook de lichtprikkel in den loop van den bedoelden tijd mag zijn verdeeld?

Om deze vraag te beantwoorden hebben wij een kikvorschenoog herhaaldelijk geprikkeld, waarbij zoowel de prikkelingsduur t als de verlichtingsintensiteit I werd gevarieerd, doch steeds zóó, dat bij elke prikkeling het bedrag der lichtenergie $I \times t$ een bepaalde, onveranderlijke waarde verkreeg. De retinastroom werd van den rand der cornea en den achterwand van den geïsoleerden bulbus naar den galvanometer afgeleid en op de in hoofdstuk II beschreven wijze gecompenseerd, terwijl als maat voor de photo-electrische reactie de maximale galvanometeruitslag genomen werd, die door den actiestroom werd veroorzaakt.

In de tabellen XI en XII zijn eenige der verkregen resultaten medegedeeld. De duur der verlichting werd gevarieerd tusschen 0,01 en 0,36 sec, terwijl de intensiteit van het invallende licht met behulp van het dia-

phragma 7, (zie fig. 1 der plaat) werd geregeld. De diaphragma-opening O, die hier de maat is voor de lichtintensiteit, wordt in de tabellen in vierkante millimeters opgegeven en steeds zóó gekozen, dat de prikkelingsenergie $O \times t$ het constante bedrag van 34,11 bereikt.

Tabel XI.

1	2	3	4
Duur der verlichting in sec.	Diaphragma-opening in vierkante millimeters.	Prikkelings-energie.	Galvanometer-uitslag in millimeters.
t	O	$O \times t$	g
0,01	3411	34,11	23,2
0,01	3411	„	23,1
0,06	570	„	23,4
0,06	570	„	23,1
0,36	95	„	23,2
0,36	95	„	23,4

Tabel XII.

t	O	$O \times t$	g
0,01	3411	34,11	28,7
0,01	3411	„	28,5
0,06	570	„	28,4
0,06	570	„	28,2
0,36	95	„	28,3
0,36	95	„	28,4

De opgaven van een verticale kolom uit de tabellen hebben betrekking op opeenvolgende waarnemingen, die met tusschenruimten van 2 of 3 minuten werden gedaan.

Alleen de beide eerste opgaven van tabel XII, die betrekking hebben op den verlichtingsduur van 0,01 sec. zijn gemiddelde waarden, berekend uit de resultaten, die bij het begin en bij het einde van de serie der metingen werden verkregen.

Het resultaat is niet twijfelachtig. Niettegenstaande de verlichtingsduur gevarieerd werd in de verhouding 1 : 36, is bij gelijke prikkelings-energie de photo-electrische reactie even groot. De uitkomsten mogen zelfs boven verwachting fraai worden genoemd, daar in elk der tabellen de maximale photo-electrische reactie minder dan 2 % grooter is dan de minimale.

Wij moeten ons thans vragen, hoe groot de langste verlichtingsduur is, waarbij de gevonden regel geldigheid heeft, of, om in dezelfde woorden te spreken, die reeds boven zijn gebruikt, welke de langste verlichtingstijd is,die nog als momentverlichting in aanmerking mag komen.

De volgende tabel XIII geeft hierop het antwoord. Zij geeft de resultaten weer van een reeks metingen, waarbij de verlichtingsduur te beginnen bij 4 sec. telkens met eenzelfde bedrag van 4 sec. werd verlengd tot hij 40 sec. bereikte. Daarna werd de verlichtingsduur telkens met 4 seconden verminderd, totdat hij ten slotte weder het oorspronkelijk bedrag verkreeg.

Alle waarnemingen werden met tusschenruimten van precies 3 min. gedaan, terwijl het laten verschijnen en het laten verdwijnen van het licht niet meer met behulp van de continueel draaiende schijf, doch door een handbeweging werd bewerkstelligd.

In de tabel is op den eersten regel de gemiddelde uitkomst van de eerste en de laatste waarneming vermeld, op den tweeden regel de gemiddelde uitkomst van

de tweede en de voorlaatste waarneming, en zoo vervolgens. Alle opgegeven bedragen zijn dus gemiddelde waarden van twee waarnemingen met uitzondering van de getallen, die op den laatsten regel zijn vermeld en die betrekking hebben op de eenige, middelste waarneming, welke bij een verlichtingsduur van 40 sec. werd verricht.

Bij een verlichtingsduur van 32, 36 en 40 sec. kwam de galvanometer telkens tot rust, vóórdat met de verlichting werd opgehouden. Het ophouden van de verlichting zelve werkte dan als nieuwe prikkel, waardoor de uitslag van den galvanometer nog met 5 tot 6 millimeter werd vergroot. In de tabel zijn steeds de grootste eindafwijkingen opgenomen, zooals die zich met toevoeging van den naslag vertoonden.

Men ziet, dat de gezochte verlichtingstijd ongeveer

Tabel XIII.

1	2	3	4
Duur der verlichting in seconden.	Diaphragma-opening in vierkante millimeters.	Prikkelings-energie.	Galvanometer-uitslag in millimeters.
t	O	$O \times t$	g
4	3411	13644	55,0
8	1705	„	54,7
12	1137	„	58,4
16	853	„	64,9
20	682	„	69,7
24	568	„	75,4
28	487	„	79,2
32	426	„	81,7
36	379	„	83,9
40	341	„	80,9

8 sec. bedraagt. Bij korteren verlichtingsduur dan 8 sec. wordt het effect alleen door de totale lichtenergie bepaald. Zoodra echter de verlichtingsduur 12 sec. en langer wordt, kan niet meer in den boven door ons genoemden zin van momentverlichting worden gesproken. Merkwaardigerwijze neemt daarbij, hoewel toch de verlichtingsenergie onveranderd blijft, de photo-electrische reactie niet onbelangrijk toe. De galvanometeruitslagen worden van 55 mM. bij een verlichting van 4 en 8 sec., vergroot tot 84 mM bij een verlichting van 36 sec. Bij nog langduriger verlichting neemt, altijd bij gelijkblijvende totale verlichtingsenergie, de photo-electrische reactie weder af. Dit laatste was te verwachten, daar men bij zeer langdurige verlichting uit den aard der zaak dezelfde maximale reacties verkrijgen zal als bij continueele verlichting, en de galvanometeruitslagen dan niet meer door de totale energie, maar door de intensiteit van het licht moeten worden bepaald.

Dat betrekkelijk zeer langdurige verlichtingen voor het geïsoleerde kikvorschenoog nog momentverlichtingen genoemd mogen worden, kan ook op andere wijze worden bewezen, en wel met behulp van intermitteerend licht.

In de onderstaande tabel XIV vindt men de resultaten van eenige metingen in drie groepen *A*, *B* en *C* weergegeven.

De eerste regel van iedere groep geeft de gemiddelde uitkomst weer van twee metingen, die bij continueel licht zijn gedaan en waarvan de ééne 4 of 5 minuten vóór, de andere evenveel minuten na de meting met intermitteerend licht werd uitgevoerd.

Van de metingen met intermitteerend licht is telkens de eenige uitkomst vermeld, die op den tweeden regel van elke groep wordt gevonden.

Tabel XIV.

1 Waarnemingsgroepen.	2 Wijze van verlichten.	3 Diaphragma-opening in vierkante millimeters. O	4 Gemiddelde prikkelingsenergie per seconde. i	5 Galvanometeruitslag in millimeters. g
A	continueel licht.	1705	1705	199,3
	intermitteerend 3,51 sec. licht 3,51 sec. donker	3411	1705	204,3
B	continueel licht.	1705	1705	193,0
	intermitteerend 3,51 sec. licht 3,51 sec. donker	3411	1705	195,3
C	continueel licht.	1705	1705	146,3
	intermitteerend 0,18 sec. licht 0,18 sec. donker	3411	1705	148,1

Als galvanometeruitslag is hier de maximale afwijking genomen tijdens de verlichting, zoodat dus de naslag, die zich bij het plotseling verdwijnen van het licht vertoont, buiten rekening is gelaten.

De tabel toont op bevredigende wijze de gelijkheid aan der photo-electrische reactie bij gelijke gemiddelde verlichtingsenergie per sec. De grootste afwijking, die 2,5 % bedraagt, wordt gevonden in groep *A*, waarbij het licht afwisselend 3,51 sec. werd toegelaten en 3,51 sec. afgesloten.

In alle drie de groepen is de intermissie van het licht zóó gekozen, dat op een tijdperk van verlichting steeds

een even lang tijdperk van duisternis volgde, doch het behoeft nauwelijks te worden vermeld, dat deze bijzonderheid geen wezenlijken invloed kan hebben op het resultaat. Men kan met zekerheid voorspellen, dat, indien de intermissies slechts snel genoeg plaats hebben, de wijze waarop licht en donker zijn verdeeld, absoluut onverschillig is voor de einduitkomst.

Ten overvloede wordt deze stelling nog door tabel XV nader toegelicht.

In deze tabel vinden wij vier groepen van waarnemingen. Evenals bij de vorige tabel stelt ook bij deze de eerste regel van iedere groep de gemiddelde uitkomst van twee waarnemingen voor, waarvan de eene enkele

Tabel XV.

1	2	3	4	5	6	7
Waarnemingsgroepen.	Duur van een verlichtingstijdperk in seconden. W	Duur van een tijdperk van duisternis in seconden. Z	Verhouding van W tot $W+Z$. $\frac{W}{W+Z}$	Diaphragmaopening in vierkante millimeters. O	Gemiddelde prikkelingsenergie per sec. i	Galvanometeruitslag in millimeters.
A	0,045	0,675	$\frac{1}{16}$	3411	213	131,1
	0,360	0,360	$\frac{1}{2}$	426	213	130,9
B	0,045	0,675	$\frac{1}{16}$	3411	213	90,4
	0,360	0,360	$\frac{1}{2}$	426	213	91,4
C	0,045	0,675	$\frac{1}{16}$	3411	213	78,3
	0,360	0,360	$\frac{1}{2}$	426	213	77,9
D	0,10	0,62	$\frac{1}{7.2}$	9	1,25	32,9
	0,10	3,50	$\frac{1}{36}$	45	1,25	33,3

minuten vóór, de andere evenveel minuten na de waarneming van den tweeden regel der groep is verricht. De uitkomsten zijn zeer bevredigend. Wanneer de in kolom 6 vermelde, gemiddelde prikkelingsenergie per seconde even groot is, dan blijft ook de in kolom 7 weergegeven photo-electrische reactie onveranderd.

De grootste afwijkingen komen voor in groep *B* en *D*, doch bedragen hier nauwelijks meer dan 1 %, niettegenstaande toch de verhouding van den verlichtingsduur tot de totale periode eener intermissie van $^1/_{16}$ tot $^1/_2$ en van $^1/_{7.2}$ tot $^1/_{36}$ gevarieerd wordt.

Voordat wij van het boven behandelde onderwerp afstappen, veroorloven wij ons eerst nog een paar opmerkingen te maken.

De langdurigste verlichting, die voor den geïsoleerden kikvorschenbulbus nog momentverlichting mag worden genoemd, stelt geen absoluut bedrag voor, doch wisselt vrij sterk al naar de omstandigheden, waaronder de verlichting plaats heeft. Behalve individueele verschillen, vermoeienis, beleediging van het oog, enz. is hier de prikkelingsintensiteit zelve van zeer grooten invloed. Reeds in het vorige hoofdstuk werd er op gewezen, dat de duur der photo-electrische reactie bij een zwakke prikkeling korter is dan bij een sterke, en dit moet noodwendig ten gevolge hebben, dat zwakke prikkels in grooter frequentie moeten worden aangebracht dan sterke, om tot een volledige versmelting der photo-electrische reacties aanleiding te geven.

Bij de intermitteerende sterke prikkels, zooals die in tabel XIV en in de eerste drie groepen van tabel XV zijn vermeld, bewoog de galvanometer zich even gelijkmatig als bij een continueele verlichting. Daarentegen konden bij de zwakke prikkeling van de laatste groep uit

tabel XV kleine schommelingen in den galvanometerspiegel worden waargenomen, voordat deze zijn eindstand had bereikt De prikkeling was hier dan ook zeer zwak, daar de gemiddelde prikkelingsenergie per seconde slechts 1,25 bedroeg tegen een bijna 1400 maal grootere waarde in tabel XIV.

De omstandigheid mag niet onvermeld blijven, dat de voorwaarden voor een volledige versmelting der photo-electrische reacties in den geïsoleerden kikvorschenbulbus schijnbaar in strijd zijn met de voorwaarden, waaronder een versmelting plaats heeft van subjectieve lichtgewaarwordingen bij den mensch. In het algemeen wordt aangenomen, dat deze laatste versmelting des te sneller intermitteerend licht vereischt, al naarmate de lichtsterkte grooter is, (XLVI). Neemt men een draaischijf met witte en zwarte sectoren, en draait die bij een gegeven verlichting met zoodanige snelheid rond, dat de flikkeringen juist even verdwijnen om plaats te maken voor een gelijkmatige continueele lichtgewaarwording, dan zal men bij een versterking der verlichting de flikkering weer zien te voorschijn treden; en om deze weer te doen verdwijnen moet de schijf sneller worden rondgedraaid. Maar wij durven niet beoordeelen, of de tegenstrijdigheid, die in dit opzicht tusschen de photo-electrische reacties en de subjectieve lichtgewaarwording bestaat, werkelijk of slechts schijnbaar is. Want men bedenke, dat de omstandigheden, waaronder de proeven worden genomen, zeer groote verschillen aanbieden, waarbij in het bijzonder het onderscheid in de adaptatie op den voorgrond treedt.

Overigens mag ook nog op het onderzoek van Marbe (XLVII) worden gewezen, die tot het resultaat komt, dat de gewaarwording die door twee verschillend sterke,

elkaar periodisch afwisselende, lichtprikkels wordt veroorzaakt, bij des te geringer wisselingsfrequentie continueel zal worden, al naar mate de gemiddelde intensiteit der beide prikkels toeneemt.

Waar in het vervolg van ons proefschrift, zooals vooral in hoofdstuk VI, van momentverlichting van den geïsoleerden kikvorschenbulbus gebruik zal worden gemaakt, daar zal steeds, zoodra de verlichtingsduur 0,1 seconde of meer gaat bedragen, de gewenschte prikkel door middel van sterk licht in zoo kort mogelijken tijd tot stand worden gebracht.

De tweede opmerking, die gemaakt moet worden, geldt het vermogen, om te reageeren op een kortdurende verduistering, die zich plotseling tijdens een continueele en constante verlichting voordoet. Men zou uit den langen duur der photo-electrische reactie en het gemakkelijk versmelten van het effect eener vrij langzaam intermitteerende verlichting geneigd zijn af te leiden, dat een kortdurende verduistering, die plotseling tijdens een continueele, constante verlichting intreedt, zonder wijziging in den actiestroom zou blijven. Immers zou de actiestroom, door het licht *vóór* de korte verduistering volledig kunnen versmelten met den actiestroom, die door het even sterke licht *na* de korte verduistering wordt te weeg gebracht. Doch zoo concludeerende zou men uit het oog verliezen, dat de actiestroom op zeer samengestelde wijze tot stand komt. Men mag niet vergeten, dat de stationaire actiestroom van een oog, dat door constant licht wordt bestraald, niet onaanzienlijk wordt versterkt, wanneer de bestraling plotseling ophoudt, zooals o. a. uit tabel X van hoofdstuk III kan blijken, en zooals ook reeds elders boven werd vermeld.

De verduistering werkt als het ware zelve als een

prikkel, zoodat in het algemeen het resultaat van een plotselinge, kortdurende opheffing van een continueel en constant schijnend licht moeilijk à priori kan worden voorspeld. Wil men dat resultaat leeren kennen, dan is men genoodzaakt om tot een directe proefneming over te gaan.

De sectoren 15, zie fig. 1 der plaat, werden op doelmatige wijze door een ondoorschijnenden sector van 5° vervangen, die met zoodanige snelheid voorbij het gezichtsveld kon worden gedraaid, dat dit laatste gedurende 0.01 sec. werd verduisterd. Er werd voor gezorgd, dat deze verduistering ten behoeve van elke meting slechts éénmaal plaats had.

Terwijl de diaphragma-opening op 3411 mM². was gesteld, vertoonde de actiestroom van een onderzocht oog de waarden die in de onderstaande tabel XVI zijn vereenigd.

Tabel XVI.

Wijze van prikkelen.	Uitslag van den galvanometer.
Het aanbrengen van continueel licht.	65,1 mM.
Het ophouden der verlichting	21,0 mM.
0,01 seconde licht	14,7 mM
0,01 seconde donker.	2,0 mM.

Alle in bovenstaande tabel genoemde galvanometeruitslagen zijn positief, d. i. in dezelfde richting als de ruststroom. De bedragen, die op den eersten en den derden regel worden vermeld, zijn gemiddelde, het bedrag van den eersten regel schommelt tusschen 63,2 en 67,0, dat van den derden tusschen 14,1 en 15,3 mM.

De uitslag voor het ophouden der verlichting, op den tweeden regel aangegeven, werd slechts éénmaal gemeten, daarentegen werd het effect van 0,01 sec. verduistering vele malen achter elkaar, steeds met dezelfde uitkomst van 2 mM waargenomen. Het is bijna zeven maal geringer dan het effect der even langdurige, plotselinge verlichting, hoewel toch uit den aard der zaak bij de plotselinge verduistering evenveel energie aan het oog werd onttrokken, als bij de even langdurige plotselinge verlichting er aan werd toegevoegd.

De subjectieve lichtgewaarwording van den mensch kan gemakkelijk worden vergeleken met de photo-electrische reactie van den geïsoleerden kikvorschenbulbus. Toen ik onder een zwarten doek van de plaats uit, waar anders het kikvorschenoog zich bevond, den blik in den verlichtingskoker richtte, ondervond ik van een plotselinge verlichting van 0,01 sec. een zeer sterken indruk, terwijl de even zoo korte verduistering van een continueel en constant licht slechts zeer zwak waarneembaar was.

De volgende tabel doet de effecten van langer durende verduisteringen zien. De opgaven van den 3^{en}, 4^{en} en 5^{en} regel zijn gemiddelde waarden, die elk uit twee galvanometeruitslagen zijn berekend, en wel op deze wijze, dat bij het begin en bij het einde der serie een verduistering van 1 seconde werd toegepast; de 2^{e} en de voorlaatste waarneming golden een verduistering van 2 seconden, enz. De verduistering van 6 sec. kwam in het midden der serie te staan, zoodat de daarbij behoorende galvanometeruitslag direct in de tabel kon worden overgenomen. Alle uitslagen zijn in de richting van den ruststroom, dus positief.

Tabel XVII.

Wijze van prikkeling.	Uitslag van den galvanometer.
1 sec. licht.	124,3 mM.
Het aanbrengen van continueel licht.	163,2 mM.
1 sec. verduistering	16,1 mM.
2 sec. „	17,2 mM.
4 sec. „	15,4 mM.
6 sec. „	12,1 mM.

Men ziet weder, evenals bij tabel XVI, dat een kortdurende verlichting een veel sterkeren actiestroom veroorzaakt dan een kortdurende verduistering.

Verder valt het op, dat bij de verduistering van 2 seconden de photo-electrische reactie een relatief maximum bereikt, en ten slotte moeten wij nog opmerken, dat bij de laatstvermelde verduistering van 6 seconden de galvanometeruitslag zich tweeledig vertoonde: bij het begin van de verduistering week het spiegelbeeld uit tot een maximum-bedrag van 12,1 mM.; daarna viel het terug nog vóórdat de 6 seconden waren verloopen, om zich nogmaals in positieve richting te bewegen op het oogenblik, dat het licht weer werd toegelaten.

VIJFDE HOOFDSTUK.

Gevolgen van adaptatie en van prikkeling met gekleurd licht.

Het is gemakkelijk, om den invloed van adaptatie op de photo-electrische reactie van den geïsoleerden kikvorschenbulbus aan te toonen. Een lichtprikkel van 0,1 sec., die een sterken actiestroom veroorzaakt in een oog, dat langen tijd in het absolute duister is gehouden, heeft slechts een gering effect op hetzelfde oog, wanneer het voor licht is geadapteerd, hetgeen in volkomen overeenstemming is met de verschijnselen van de subjectieve lichtgewaarwording bij den mensch.

Waller maakte van de gevolgen van de adaptatie in het kikvorschenoog gebruik, om te onderzoeken, of er ook onderscheid in photo-electrische reactie door verschil in kleur kon worden aangetoond. Daarbij ging hij aldus te werk. Eerst bepaalde hij in het voor duisternis geadapteerde oog den galvanometeruitslag voor een 10

seconden lange, roode verlichting en den uitslag voor een even lange groene verlichting.

Daarna liet hij 10 minuten achtereen groen licht schijnen, om het oog voor groen te adapteeren of te vermoeien. En bij het aldus vermoeide oog werd nu opnieuw de galvanometeruitslag voor een even lange roode en groene verlichting gemeten. De proeven leerden, dat een continueele groene verlichting een even sterke adaptatie of vermoeienis voor groen als voor rood licht doet ontstaan, terwijl ook evenzoo een langdurige roode verlichting de photo-electrische reacties op een prikkeling met rood en een prikkeling met groen licht gelijkelijk benadeelt.

Terwijl het onderzoek van Waller aldus naar een successieve methode werd verricht, stelde de door mij gebruikte inrichting mij in staat, een simultane methode toe te passen. Door de klep 6, zie fig. 1 der plaat, weg te nemen, kan zijdelings licht in den verlichtingskoker worden toegelaten, en gedurende het schijnen van dit constante zijdelingsche licht op het als lichtbron dienende papier 4 kunnen er metingen gedaan worden van de photo-electrische reacties, die op de gewone, boven reeds herhaaldelijk beschreven momentverlichtingen volgen.

Het gekleurde licht werd verkregen door middel van gekleurde glazen, die ten behoeve van de zijdelingsche verlichting in de plaats van de klep bij 6 werden gelegd en ten behoeve van de gewone momentverlichtingen hun plaats vonden vóór de lens 8 in de schuif bij 11.

Wij maakten van rood, groen en blauw glas gebruik. Bij spectroscopisch onderzoek bleek het roode glas zoo goed als zuiver rood licht door te laten, het groene glas liet van het spectrum een veel minder scherp begrensd deel door, waarin echter uit den aard der zaak het groen

de bovenhand had, terwijl het licht, dat door het blauwe glas, het bekende cobaltglas, was gefiltreerd, naast veel blauw en violet, nog een weinig rood vertoonde. Dit laatste mag bij onze metingen wel worden verwaarloosd, niet alleen, omdat het rood onzer cobaltglazen slechts zeer zwak was, maar omdat bovendien uit opzettelijk ingestelde proeven bleek, dat het kikvorschenoog zeer vele malen gevoeliger is voor blauw dan voor ongeveer even sterk rood licht.

Wij gingen aldus te werk: bij een voor duisternis geadapteerd oog werden momentprikkels toegepast van 0,1 sec. en wel afwisselend van groen en rood licht. Bij de prikkeling met rood licht wordt het diaphragma 7, zie fig. 1 der plaat, telkens maximaal geopend, terwijl bij de prikkeling met groen licht een zoodanige diaphragma-opening wordt gezocht, dat de photo-electrische reacties in de beide gevallen even sterk worden.

Zooals uit de onderstaande tabel blijkt, is de gezochte diaphragma-opening 173 mM^2, terwijl de maximale opening 3411 mM^2 bedraagt.

Tabel XVIII.

Galvanometeruitslagen in millimeters veroorzaakt door 0,1 sec. verlichting met		Verschil der galvanometeruitslagen in millimeters.
groen licht bij een diaphragmaopening van 0, = 173 mM^2.	rood licht bij een diaphragmaopening van 0 = 3411 mM^2.	
14,2	14,0	0,2
13,6	13,6	0
13,6	13,5	0,1

Na afloop van deze metingen wordt het papier van terzijde met continueel rood licht bestraald. Hierdoor wordt een galvanometeruitslag van 76 mM. veroorzaakt. Terwijl het zijdelingsche roode licht blijft schijnen, worden de metingen van bovenstaande tabel XVIII herhaald. De uitslag vindt men in de onderstaande tabel vermeld.

Tabel XIX.

Galvanometeruitslagen in millimeters, veroorzaakt door dezelfde verlichting als van tabel XVIII alleen met dit verschil, dat het oog gedurende de geheele reeks van metingen met een constant rood licht blijvend wordt bestraald.

groen $O_1 = 173$ mM².	rood $O = 3411$ mM².	Verschil.
4,9	5,1	0,2
4,7	4,8	0,1
4,7	4,7	0
4,0	4,0	0

Geheel overeenkomstig de bovenstaande metingen met groen en rood worden nu een aantal metingen met blauw en rood uitgevoerd. Men vindt de resultaten in de volgende tabellen XX en XXI weergegeven.

Tabel XX.

Geen zijdelingsch licht in den verlichtingskoker. Galvanometeruitslagen in millimeters veroorzaakt door 0,1 sec. verlichting met		Verschil der galvanometeruitslagen in millimeters.
blauw licht bij een diaphragmaopening van $O_2 = 545$ mM².	rood licht bij een diaphragmaopening van $O = 3411$ mM².	
11,8	11,8	0
11,8	11,0 [1])	0,8
11,7	11,7	0

[1]) Dit vrij groote verschil moet naar alle waarschijnlijkheid worden toegeschreven aan een nawerking van den voorafgaanden prikkel op het oog. Deze waarneming werd te snel (1 min.) na de voorgaande verricht. Na 1,5 min. rust herstelde het oog zich weer.

Tabel XXI.

Galvanometeruitslagen in millimeters.
Er straalt zijdelings in den verlichtingskoker een continueel rood licht, dat een uitslag van 60 mM. heeft veroorzaakt.

blauw $O_2 = 545$ mM².	rood $O = 3411$ mM².	Verschil.
4,3	4,1	0,2
4,2	3,9	0,3
4,1	4,1	0
4,0	4,0	0

Uit bovenstaande tabellen zien wij, dat een door continueel rood licht vermoeid oog een juist even groote vermindering vertoont in de photo-electrische reactie op een momentane rood- als op een momentane groen- of op een momentane blauw-verlichting.

Scherper dan door vorige onderzoekers kon worden aangetoond, blijkt uit deze metingen, dat er in de ontwikkeling van den actiestroom geen specifieke adaptatie of specifieke vermoeienis voor licht van een bepaalde kleur als rood, groen of blauw bestaat.

Welk besluit kan hieruit worden getrokken?

Deze vraag is niet met een enkel woord te beantwoorden, daar zij, al naar gelang van de veronderstellingen, die men wenscht te maken, verschillende oplossingen toelaat. Betwijfelt men, of de photo-electrische reactie wel nauw samenhangt met dat onbekende proces in de retina, dat naar de hersenen wordt geleid en aldaar de gezichtsgewaarwording doet ontstaan, dan kan men, zooals van zelf spreekt, uit de verrichte metingen ook niets van de licht- en kleurenzin leeren. De basis van iedere conclusie, die wij trekken, moet juist gelegen zijn in de veronderstelling, dat er een innige samenhang

tusschen de photo-electrische reactie en het genoemde proces bestaat, en dat bijv. de intensiteit dier reactie ceteris paribus een maat voor de intensiteit der lichtgewaarwording is.

Het ontbreken eener specifieke vermoeienis in de photo-electrische reactie op verschillend gekleurd licht bewijst, dat die reactie steeds in dezelfde vormelementen van het netvlies tot stand komt. Wij moeten dus aannemen, dat evenzoo de gewaarwording bij prikkeling met rood, groen of blauw licht door processen in de retina wordt ingeleid, die aldaar niet materieel van elkaar gescheiden zijn. En dan blijven er twee mogelijkheden over: òf de kikvorsch mist een kleurenzin, òf wel zijn kleurgewaarwordingen worden, in strijd met de leer der specifieke energieën door verschillende processen in hetzelfde kleinste vormelement veroorzaakt.

Wij aarzelen niet, de eerste mogelijkheid als verreweg de meest waarschijnlijke aan te nemen.

ZESDE HOOFDSTUK.

Over de betrekking, die tusschen de intensiteit van den prikkel en de intensiteit der reactie bestaat.

Om de betrekking te leeren kennen, die tusschen de intensiteit van den prikkel en de intensiteit der reactie bestaat, moeten wij in staat zijn, zoowel om prikkels aan te brengen, waarvan de intensiteit nauwkeurig bekend is, als om de intensiteit der correspondeerende reactie nauwkeurig te meten. Aan den eersten eisch kan gemakkelijk worden voldaan.

Maar de meting der reactie-intensiteit gaat met groote bezwaren gepaard.

In de eerste plaats herinneren wij aan de onvolkomenheden van het meetinstrument, dat slechts traag aanwijst, daar immers de galvanometer een grooten schommeltijd bezit, terwijl de photo-electrische reactie althans in sommige gevallen van korten duur zou kunnen zijn.

Maar in de tweede plaats moeten wij bedenken dat de aard en de vorm der photo-electrische reactie reeds op zich zelve moeilijkheden zouden kunnen opleveren, ook al werd de meting met een oneindig snel aanwijzenden galvanometer verricht. Neemt men bijv. aan, dat er zich bij iedere reactie twee tegengestelde electromotorische krachten ontwikkelen, die als resultante een electriciteitsbeweging van een bepaalden vorm doen geboren worden, zoo kan men alleen dan eenige waarde aan de intensiteitsmetingen toekennen, wanneer men veronderstelt, dat of de electriciteitsbeweging bij alle intensiteiten geheel gelijkvormig is, of wel de krachten, die zich in de ééne richting doen gelden, zoozeer de bovenhand hebben over die, welke in de andere richting werkzaam zijn, dat de invloed dezer laatste zou mogen worden verwaarloosd.

Deze onderstellingen hebben, op zichzelf beschouwd, niets onwaarschijnlijks. Daarom zullen wij, evenals vroegere onderzoekers dat gedaan hebben, de intensiteit der reactie eenvoudig afmeten naar den maximalen uitslag van den galvanometer.

De op deze wijze verkregen uitkomsten zijn bovendien zóó regelmatig, dat zij geacht mogen worden den grond, waarop bovengenoemde onderstellingen berusten, te bevestigen.

Geen der vroegere onderzoekers heeft metingen bij groote verschillen in prikkelingsintensiteit verricht, hetgeen waarschijnlijk wel daaraan moet worden toegeschreven, dat zij met licht prikkelden, dat verscheidene seconden achtereen continueel bleef schijnen. Het zijn voornamelijk Dewar en M'. Kendrick, en Waller, die hier moeten worden genoemd. De eersten bestraalden eenige oogen (IX blz. 156) met licht, waarvan de intensiteiten zich

verhielden als 1 : 100. Zij vonden dat de photo-electrische reacties daarbij gemiddeld varieerden in de verhouding van 1 : 3 en 1 : 6. Met andere woorden, indien een lichtbron op een afstand van 10 voet een galvanometeruitslag van één schaaldeel veroorzaakt, dan zal zij op een afstand van 1 voet een uitslag van 3 tot 6 schaaldeelen bewerkstelligen. Hieruit besluiten Dewar en M'. Kendrick, dat de photo-electrische reactie van het kikvorschenoog niet evenredig toeneemt met den prikkel, maar eerder geacht kan worden de wet van Fechner te volgen.

Waller gaat een belangrijken stap verder. Hij verricht verscheidene serieën van metingen, waarbij de prikkelingsintensiteiten volgens een rekenkundige reeks toenemen, terwijl hij kan constateeren, dat de toename van de intensiteiten der reactie niet volgens deze reeks plaats grijpt. Als bijv. de prikkelingen geschieden met de intensiteiten 1, 2, 3, 4 en 5, worden de galvanometeruitslagen achtereenvolgens 34, 58, 72, 82 en 90. Waller stelt dit graphisch voor in een figuur (XXIX fig. 21, blz. 25) die wij hieronder reproduceeren.

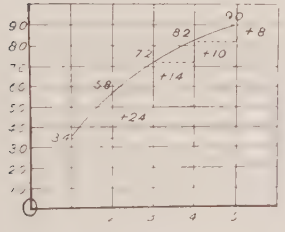


Fig. 1.

Hij wijst er op, dat een kromme, die nauwkeurig volgens de wet van Fechner is geconstrueerd, hetzelfde type vertoont, nl. bij gelijke aangroeiing van de abscissen, een telkens verminderde aangroeiing der ordinaten.

Wanneer de prikkelingsintensiteiten verder uiteenloopen, en vooral de absolute sterkte der zwakke prikkels gering is, verandert de vorm der kromme, zooals uit de volgende, ook van Waller

overgenomen figuur (XXIX fig. 24, blz 29) kan blijken. Hier hebben de prikkelings-intensiteiten gevarieerd van 1 tot 9, terwijl de kromme S-vormig is geworden

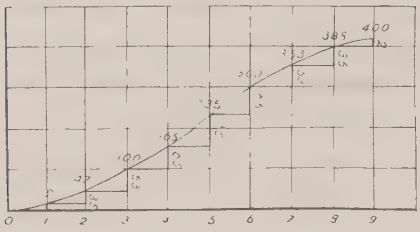


Fig. 2.

Terecht bepaalt Waller zich tot eenige algemeene conclusies, die hij uit de verkregen uitkomsten trekt. Hij laat zich niet verleiden, om uitvoerige mathematische ontwikkelingen op te bouwen op gegevens, die immers te beperkt zijn, om tot een eenigermate bevredigend inzicht te leiden in het verband, dat er bestaat tusschen de in het dagelijksch leven zoo enorm uiteenloopende prikkelingsintensiteiten en de intensiteiten der reactie.

Van de beperktheid der gegevens kunnen wij ons op de volgende wijze een denkbeeld trachten te vormen.

Naar Langley (XLVIII) verhoudt zich de intensiteit van het licht, dat het menschelijk oog nog kan waarnemen tot de intensiteit der stralen die dat oog nog kan verdragen als $1 : 10^{15}$.

Maar deze verhouding is berekend voor een oog, dat in het eene geval, bij sterke verlichting, een nauwe pupil bezit en geprikkeld wordt door de directe stralen der zon, terwijl hetzelfde oog in het andere geval, bij zwakke verlichting, een wijde pupil heeft en bestraald wordt door monochromatische, groene stralen, voor welke de de gevoeligheid het grootst is. Brengt men dit alles in rekening, om de verhouding te leeren kennen van de intensiteit der werkelijk prikkelende stralen, die in beide

gevallen de retina zelve treffen, dan komt men tot een bedrag van ongeveer $1 : 2 \times 10^{13}$.

Men zou deze waarde ook kunnen leeren kennen uit de verhouding der intensiteit van het directe zonlicht tot het licht van de met het bloote oog zwakst waarneembare ster [1]). Daaruit wordt dan gevonden $1 : 4 \times 10^{12}$.

Nemen wij voorloopig aan, dat deze getallen voor het kikvorschenoog zoo al niet even groot, dan toch van dezelfde orde zijn, dan is zoowel de kromme van fig 1, als die van fig. 2 slechts ongeveer een billioenste van de volledig gedachte kromme. Het springt in het oog, dat er, op zijn zwakst uitgedrukt, eenige gevaren verbonden zijn aan het bestudeeren van een prikkelingswet [2]), wanneer men slechts van een zoo klein deel der dagelijks voorkomende variaties in prikkeling uitgaat.

Na het bovenstaande behoeft niet meer afzonderlijk te worden betoogd, dat het wenschelijk is het aantal metingen aanzienlijk uit te breiden, en wel vooral de prikkelingsintensiteiten zoo ruim mogelijk te varieeren.

De resultaten van het vierde hoofdstuk verstrekken ons daartoe een machtig hulpmiddel. De zwakste prikkel, die wij hebben toegepast, duurde 0,002 sec. bij een diaphragma-opening van 1,13 mM^2. Noemen wij de energie van het licht dat gedurende 1 seconde door een diaphragma-opening van 1 mM^2 straalt, $= 1$, dan is dus de energie van den zwaksten prikkel $= 0{,}00226$ eenheden.

Uit het vierde hoofdstuk bleek, dat voor het geïsoleerde kikvorschenoog een prikkeling van doelmatige sterkte gedurende 6 sec. nog als een momentprikkeling mag worden beschouwd. Werd hiervan gebruik gemaakt

---

[1]) Volgens Pickering, geciteerd naar (XLVIII, p. 378 en 379).
[2]) Zie Wertheim Salomonson (IL).

en tegelijk de diaphragma-opening vergroot tot 3411 mM^2, dan werd een prikkelingssterkte verkregen van 20466 eenheden of wel een sterkte, welke zich tot die van den zwaksten prikkel verhield als 1 tot ongeveer tien millioen.

Wij moeten hier de aandacht vestigen op de omstandigheid, dat wij, in tegenstelling met Waller, die de stralen van ter zijde in het oog liet vallen, bij onze proeven er naar gestreefd hebben, dat deel der retina, dat verlicht werd, in ieder punt even sterk te verlichten. Het schijnt ons toe, dat bij het onderzoek naar het verband tusschen prikkelingsintensiteit en intensiteit der reactie, ons bovenbedoeld streven niet overbodig mag heeten. De wijze, waarop het licht over de retina verdeeld is, zal alleen dan zonder invloed zijn op het resultaat der metingen, wanneer men mag aannemen, dat een verminderde bestralingsintensiteit gecompenseerd wordt door een grootere plaatselijke uitbreiding van het licht, m.a.w. dat de photo-electrische reactie bepaald wordt door de energie van het invallende licht, onverschillig of dit licht een klein of een groot deel der retina treft [1]).

Ons doel werd wegens twee oorzaken niet geheel bereikt, en wel vooreerst omdat het vlammebeeld op het papier bij 4, zie fig. 1 der plaat, niet op alle plaatsen even lichtsterk was, en vervolgens, omdat het hypermetropische, en dikwijls nog vrij sterk ingevallen kikvorschenoog slechts een diffuus beeld van het genoemde papier op de retina ontving.

De eerstgenoemde oorzaak had slechts een onbeteekenend gevolg. Er werd met behulp van diaphragma 14,

[1]) Men zie hierover Förster en Charpentier, geciteerd naar Schäfer (L, p. 1055 en 1067).

zie fig. 1 der plaat, getracht een vrij gelijkmatig deel uit de vlammestralen te snijden, terwijl de ongelijkheden, die nog in het beeld der vlam overbleven, door de verstrooiingscirkels op de retina van het kikvorschenoog nagenoeg geheel tot verdwijnen werden gebracht.

Werkt in dit opzicht het diffuus zijn van het retinabeeld in het voordeel van ons streven, om een overal even sterk verlicht beeld op het netvlies te doen ontstaan, in een ander opzicht worden wij er door bemoeilijkt. Want de rand der lichtvlek moet in een diffuus beeld zwakker verlicht zijn dan het midden, waardoor dus toch weder de ongewenschte ongelijkmatigheid te voorschijn wordt geroepen.

Doch de nadeelen van het onscherp zijn van het retina-beeld kunnen bij onze proeven in geen geval zeer groot zijn geweest. Het oog werd midden achter het verlichte papier geplaatst en de cornea werd er zoo goed mogelijk op gericht. Hierdoor werd het meest gelijkmatig verlichte beeldcentrum op de achterste pool van het oog geworpen, waar ook juist eene der electroden was geplaatst om de ontwikkelde electriciteit af te leiden.

Wij kunnen nog op een andere gunstige omstandigheid wijzen, die zich bij onze proeven voordeed. Hoe grooter de gezichtshoek g is, waaronder het oog de verlichte vlek op het papier ziet, des te minder zal de invloed der verstrooiing zijn Want de verstrooiing komt alleen aan den rand in aanmerking. Zij brengt geen verandering in de lichtsterkte van al die deelen van het netvliesbeeld, die verder van den rand verwijderd zijn dan de lengte bedraagt van den straal der verstrooiingscirkels.

De grootte van den rand neemt direct met hoek g toe, terwijl de oppervlakte van het retinabeeld toeneemt met het quadraat van dien hoek. Wij hebben bij onze

verlichting van een grooten hoek g, ongeveer 30°, gebruik gemaakt, zoodat wij den invloed van het gelijkmatig verlichte oppervlak als ver overwegend mogen beschouwen boven den invloed van den ongelijkmatig verlichten rand.

Om de metingen zelve zoo betrouwbaar mogelijk te maken, moest rekening worden gehouden met den invloed van verschillende, wisselende omstandigheden Als zoodanig konden in aanmerking komen:

1e de niet volkomen standvastigheid van het nulpunt en van de gevoeligheid van den galvanometer;

2e de niet volkomen onveranderlijkheid van de pupilwijdte van het geïsoleerde kikvorschenoog;

3e de langere of kortere nawerking, die het oog van een lichtprikkel ondervindt;

4e de veranderlijke gevoeligheid en de intredende vermoeienis van het oog.

Hebben de beide eerstgenoemde omstandigheden een nauwelijks waarneembaren invloed op het resultaat onzer metingen, des te meer treden de twee laatstgenoemde op den voorgrond. Evenwel valt het niet moeilijk de door deze veroorzaakte stoornissen zoo niet geheel, dan toch grootendeels te ontgaan. Wij gingen daartoe aldus te werk.

Vooreerst werden de waarnemingen, die tot een zelfde reeks behoorden, bij steeds even groote tijdsintervallen verricht, terwijl herhaaldelijk een serie met regelmatig toenemende prikkelingsintensiteiten onmiddellijk gevolgd werd door een serie, waarbij de prikkelingsintensiteiten regelmatig afnamen. Maar vervolgens werd ook dikwijls aan het begin, midden in, en aan het eind van een serie een standaardprikkel toegepast, terwijl de intensiteiten der hierbij verkregen photo-electrische reactie onderling werden vergeleken.

In de onderstaande tabel XXII vindt men de uitkomsten van een der vele waarnemingsreeksen vereenigd. Na de bovenstaande beschouwingen en de uiteenzettingen in de vorige hoofdstukken behoeft de tabel nauwelijks nog eenige toelichting. In kolom 5 vindt men de prikkelingsenergieën uitgedrukt in de vroeger reeds aangenomen willekeurige eenheid. Onder deze eenheid ver-

Tabel XXII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tijdstip der waarneming in min.	Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	Duur der verlichting in seconden.	Diaphragmaopening in vierk. millimeters.	Prikkelingsenergie.	Logarithmus der prikkelingsenergie.	Galvanometeruitslag in millimeters.	Electromotorische kracht der photoelectrische reactie in millivolts.	Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms.
		t.	*O.*	$O \times t.$	*log. O t.*		*E.*	
2	8,22	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,1	0,047	37400
4	7,20	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,1	0,047	
6	6,56	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	2,1	0,032	
8	6,30	0,002	1,13	**0,00226**	0,354—3	**0,6**	0,009	
10	6,00	0,002	0,20	0,00040		0		
12	5,84	0,002	1,13	**0,00226**	0,354—3	**0,8**	0,012	
14	5,74	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	2,4	0,037	
16	5,64	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,4	0,052	37400
18	5,58	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	7,2	0,110	
20	5,54	0,002	573,—	1,146	0,059	12,9	0,197	
22	5,46	0,002	573,—	1,146	0,059	13,0	0,198	
24	5,38	0,002	3411,—	6,822	0,834	18,7	0,286	
26	5,28	0,010	3411,—	34,11	1,533	30,8	0,470	
28	5,18	0,060	3411,—	204,7	2,311	47,0	0,717	
30	5,04	0,360	3411,—	1228,—	3,089	72,0	1,099	
32	4,96	1,970	3411,—	6720,—	3,827	96,0	1,460	
34	4,94	zeer lang	3411,—	—	—	175,1	2,672	
37	4,92	0,002	1,13	**0,00226**	0,354—3	**0,7**	0,010	37400

staan wij de energie, die verkregen wordt, wanneer de lamp gedurende 1 sec. straalt door een diaphragma-opening van 1 mM^2.

In kolom 8 zijn de electromotorische krachten der photo-electrische reactie vermeld. Het zijn deze beide kolommen 5 en 8, die bij het onderzoek naar het verband tusschen prikkelingsintensiteit en intensiteit der reactie aan een nadere beschouwing moeten worden onderworpen.

De helderste voorstelling van het gezochte verband kan ongetwijfeld worden verkregen met behulp van de graphische methode.

Wij construeeren een kromme in een coördinatenstelsel, terwijl wij langs de as der abscissen de prikkelingsintensiteiten, langs de as der ordinaten de electromotorische krachten der photo-electrische reacties afzetten.

Indien wij hierbij het voorbeeld van Waller wenschten te volgen, zouden wij echter in groote moeilijkheden komen. Waller mat voor gelijke verschillen in photo-electrische reactie gelijke verschillen in ordinaatlengte af, terwijl ook voor gelijke verschillen in prikkelingsintensiteit gelijke verschillen in abscislengte werden genomen, zie fig 1 en 2, blz. 77 en 78. Deden wij hetzelfde en kozen daarbij dezelfde eenheden, dan zou onze kromme bij nagenoeg even groote maximale ordinaatlengte een bijna millioen maal grooter abscislengte vereischen. Het behoeft geen betoog, dat een samendrukken der kromme in de richting der abscissenas eveneens tot een onbevredigend resultaat moet leiden. Daarentegen worden de moeilijkheden opgelost, zoodra men op gelijke afstanden langs de as der abscissen niet meer de prikkelingsintensiteiten zelve, doch hare logarithmen afzet.

De logarithmen der prikkelingsintensiteiten vindt men

in kolom 6 der bovenstaande tabel XXII vermeld, terwijl de kromme, die met behulp van deze is geconstrueerd, afgebeeld is in fig. 3.

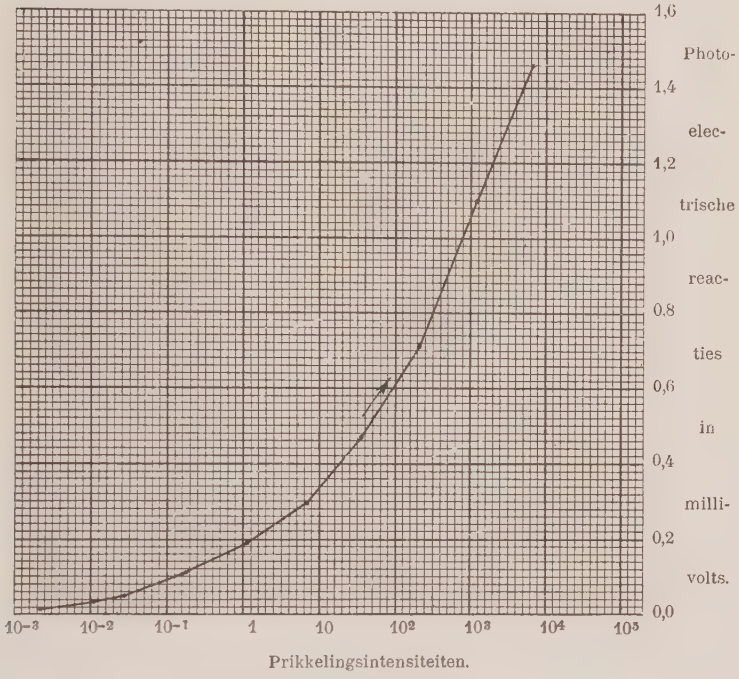


Fig. 3.

Gaan wij van de boven reeds uitgesproken veronderstelling uit, dat de intensiteit van den zwaksten lichtprikkel, die in het geïsoleerde kikvorschenoog een waarneembare photo-electrische reactie doet ontstaan, zich tot de prikkelingsintensiteit, die het oog benadeelt, verhoudt ongeveer als $1 : 10^{13}$, dan heeft de kromme van onze fig. 3 ongeveer de halve lengte der volledig gedachte kromme.

Met een oogopslag kan men overzien, in hoe verre de betrekking, die er tusschen prikkelingsintensiteit en

intensiteit der reactie bestaat, voldoet aan de wet van Fechner. Neemt, zooals door Fechner's wet wordt verondersteld, de intensiteit der reactie toe volgens een rekenkundige reeks, wanneer de prikkelingsintensiteit volgens een meetkundige reeks aangroeit, dan moet in het door ons gekozen coördinatenstelsel de gezochte betrekking voorgesteld worden door een rechte lijn. Iedere bocht in de kromme is dus de uitdrukking van het feit, dat de gezochte betrekking van de wet van Fechner afwijkt Wij zien in onze fig. 3 die afwijking zeer duidelijk bij de zwakke lichtprikkels, terwijl de lijn bij de sterkere prikkels nagenoeg recht wordt. Met grond mag worden verondersteld, dat wanneer wij over nog veel sterker prikkels hadden kunnen beschikken, een nieuwe bocht in de kromme merkbaar zou zijn geworden, en wel zou de kromme zich hol naar onderen hebben moeten gaan vertoonen. Er zal naar alle waarschijnlijkheid zekere prikkelingsintensiteit bestaan, die een maximale photo-electrische reactie veroorzaakt. Overschrijdt men de bedoelde prikkelingsintensiteit, dan zal de photo-electrische reactie niet meer toenemen. De kromme zal in het coördinatenstelsel evenwijdig gaan loopen aan de as der abscissen en vóórdat zij deze richting bereikt, zal zij zich moeten buigen met de holle zijde benedenwaarts.

Bij de metingen van Waller kwam inderdaad een grens voor den dag. Wij durven niet verklaren, dat dit resultaat slechts schijnbaar was, en wel veroorzaakt door de wijze, waarop de krommen werden geconstrueerd, want Waller zegt zelfs, dat bij steeds toenemende prikkelingssterkte een vermindering der ontwikkelde electromotorische kracht kan voorkomen, en hij spreekt daarbij het vermoeden uit, dat deze verzwakking der

photo-electrische reactie wellicht het gevolg van vermoeienis is (XXX blz. 130).

Bij de wijze, waarop wij onze metingen hadden ingericht, vertoonde zich dit verschijnsel niet. In fig. 3, die naar de gegevens van tabel XXII is geconstrueerd, werd de maximale prikkelingssterkte verkregen, door bij geheel geopend diaphragma het licht der lamp gedurende 2 sec. te laten stralen. Verlengden wij den duur der verlichting te zeer, dan ging het karakter der momentverlichting verloren.

Dit is misschien reeds het geval in fig. 4, die naar de

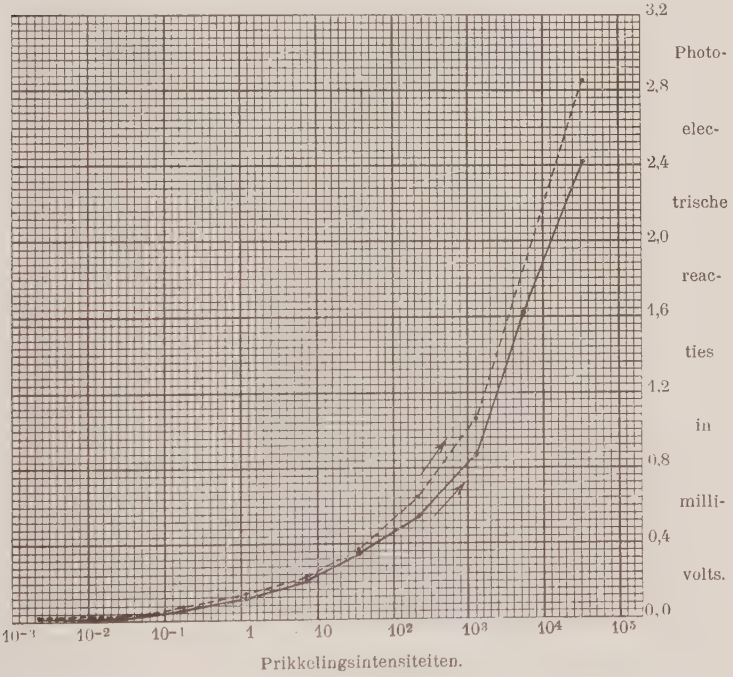


Fig. 4.

gegevens van de onderstaande tabel XXIII is geconstrueerd en bij welke de maximale prikkelingssterkte

Tabel XXIII.

1 Tijdstip der waarneming in minuten.	2 Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	3 Duur der verlichting in seconden. t.	4 Diaphragmaopening in vierk. millimeters. O.	5 Prikkelingsenergie. $O. \times t.$	6 Logarithmus der prikkelingsenergie $log.\ Ot.$	7 Galvanometeruitslag in millimeters.	8 Electromotorische kracht der photoelectrische reactie in millivolts. $E.$	9 Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms
18	7,64	0,002	5,73	**0,01146**	0,059—2	**1,4**	0,015	
20	6,98	0,002	0,20	0,00040		0		
22	6,52	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0,4	0,004	
24	6,20	0,002	5,73	**0,01146**	0,059—2	**1.4**	0,015	27030
26	6,06	0,002	13,85	**0,0277**	0,442—2	**2.1**	0,023	
28	5,72	0,002	31,17	0,0623	0,795—2	2,9	0,031	
30	5,52	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	5,6	0,060	
32	5,38	0,002	573	1,146	0,059	10.6	0,114	
34	5,20	0,002	3411	6,822	0,834	18,9	0,204	
36	5,12	0;002	5,73	**0,01146**	0,059—2	**1,4**	0,014	
38	5,08	0,010	3411	34,11	1,533	31,8	0.344	
40	5,06	0,060	3411	204.7	2,311	50,4	0,545	
42	5,04	0,360	3411	1228,—	3,098	81,3	0.878	
45	5.04	1,550	3411	5298,—	3,724	148.6	1,604	27000
49	5,02	10,000	3411	34110,—	4,533	223,6	2.416	
54	5,02	zeer lang	3411			314,9	3,402	
60	5,02	0.002	13,85	**0,02770** rust.	0.442—2	**2,0**	0,022	
82	4,84	0,002	0,20	0,00040		0		
84	4,84	0,002	1,13	**0,00226**	0,354—3	**0.7**	0.008	
86	4,82	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	1,8	0.019	
88	4,82	0,002	13,85	**0,02770**	0,442—2	**2.6**	0,028	
90	4,80	0.002	31,17	0,06234	0,795 - 2	3.4	0 037	
92	4,80	0,002	88,3	0,1766	0 247—1	5,9	0.064	
94	4,78	0,002	573	1,146	0,059	12,5	0.135	
96	4,76	0,002	3411	6,822	0,834	20,5	0,222	27030
98	4,74	0,002	1,13	**0,00226**	0,354—3	**0.8**	0,009	
100	4,72	0,010	3411	34,11	1.533	33,2	0,359	
102	4,70	0,060	3411	204,7	2,311	59,1	0.638	
104	4,70	0,360	3411	1228,—	3,089	97,2	1,051	
106	4,68	10,000	3411	34110,—	4,533	263,5	2,848	
110	4,66	zeer lang	3411	—	—	341.2	3 685	

verkregen werd door een 10 seconden lange bestraling. Wellicht is het hieraan toe te schrijven, dat het bovendeel der kromme een neiging vertoont om naar de as der abscissen hol te worden.

De kromme van fig. 4, die door een getrokken lijn is afgebeeld, heeft betrekking op de eerste waarnemingsreeks der tabel, de gestreepte lijn op de tweede waarnemingsreeks. De pijl bij iedere kromme geeft de richting aan, waarin de verschillende waarnemingen elkaar opvolgden.

Langdurige bestraling behoeft in het algemeen geen

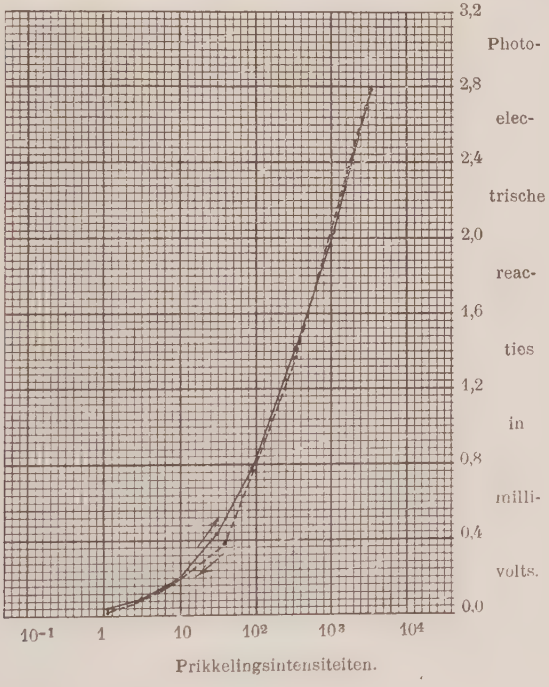


Fig. 5.

bezwaar te zijn voor een reeks van nauwkeurige metingen. Wij geven in fig. 5 de metingsresultaten weer, die

in de onderstaande tabel XXIV in cijfers staan vermeld en die verkregen werden door langdurige bestralingen bij verschillende diaphragma-openingen.

De duur van elke bestraling werd geregeld naar den gang van den galvanometer. Zoodra na de toetreding van het licht de galvanometeruitslag zijn maximum bereikte, werd met de bestraling opgehouden [1]). Deze was dan uit den aard der zaak overbodig, terwijl zij slechts,

Tabel XXIV.

Langdurige verlichting.

1	2	4	6	7	8	9
Tijdstip der waarneming in minuten.	Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	Diaphragma-opening in vierk. millimeters. *O.*	Logarithmus der prikkelings-intensiteit.	Galvanometer-uitslag in millimeters.	Electromotorische kracht der photo-electrische reactie in millivolts. *E*	Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms.
40	4,10	1,13	0,053	4,1	0,040	26700
43		3,14	0,497	9,1	0,089	
46		9,1	0,959	19,3	0,189	
50		31,2	1,494	44,2	0,432	
55		88,25	1,946	81,6	0,798	26700
60	3 46	340	2,531	144,3	1,411	
65		1058	3,035	208,5	2,034	
70		3411	3,533	286,3	2,793	26600
76		340	2,531	143,4	1,369	
84		38,5	1,585	40,8	0,395	
87		5,73	0,758	14,1	0,137	
90	3,18	1,13	0,053	2,3	0,022	26500

[1]) Waller verlichtte gewoonlijk een volle minuut.

indien wij haar lieten voortduren, het oog door vermoeienis benadeelen kon.

De maximale galvanometeruitslag werd als uitkomst van elke afzonderlijke meting in de tabel aangeteekend.

Wij zien gemakkelijk in de figuur, dat wij ook hier weder ver van de bovengrens der prikkelingsintensiteit zijn verwijderd. Het bovendeel der kromme loopt over een groote lengte zoo goed als recht. De getrokken lijn heeft betrekking op de eerste waarnemingsreeks, de gestreepte lijn op de tweede waarnemingsreeks der tabel. De pijlen geven weder voor elke lijn de richting aan, waarin de afzonderlijke waarnemingen elkaar opvolgen.

Om zeer sterk te prikkelen, hebben wij eindelijk gebruik gemaakt van een electrische booglamp van 17 Amp., die de plaats van de gaslamp innam. Juister gezegd werd de booglamp in het verlengde van de as van den verlichtingskoker geplaatst, terwijl met behulp van een condensor van den krater der positieve pool een zeer sterk, omgekeerd beeld gevormd werd op de plaats, waar zich anders de gaslamp bevond

Het diaphragma 7, zie fig. 1 der plaat, werd maximaal geopend en bij meting werd gevonden, dat in deze omstandigheden de booglamp ruim 300-maal sterker prikkelde dan de gaslamp. De diaphragma-opening werd onveranderd gelaten, en alleen de duur der verlichting werd gewijzigd.

De uitkomst der metingen vindt men in tabel XXVII vereenigd en voor een gedeelte in fig. 6 graphisch voorgesteld [1]).

[1]) Om deze figuur in overeenstemming te brengen met de overige figuren van dit hoofdstuk, is bij het afmeten der abscissen rekening gehouden met de omstandigheid, dat de lichtsterkte der elec-

Niettegenstaande de 300-maal sterkere prikkeling is er nauwelijks een afwijking van de rechte lijn in de figuur waar te nemen, dus moeten wij ook hier weder constateeren, dat wij nog zeer ver van de bovengrens der prikkelingsintensiteiten zijn verwijderd. De getrokken

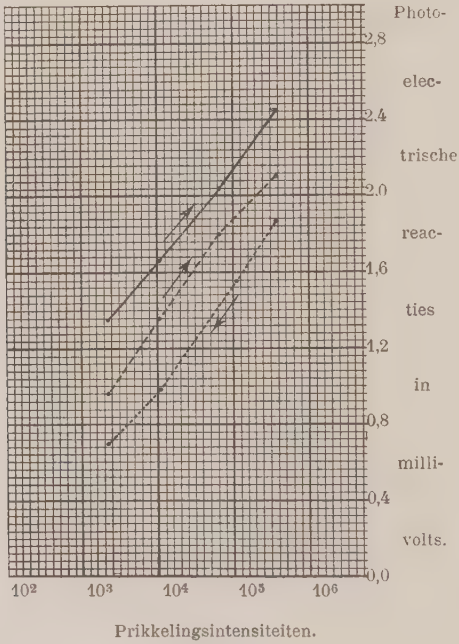


Fig. 6.

lijn heeft betrekking op de eerste, de gestreepte op de tweede, de gestippelde op de derde waarnemingsreeks uit de tabel. De pijlen geven weder de richting aan,

trische booglamp ongeveer 300 × grooter is dan die der gaslamp.

De getallen, die in de figuur bij de as der abscissen vermeld staan, en die den logarithmus der prikkelingssterkte aangeven, zijn daarom met het bedrag 2,5 hooger genomen dan de getallen, die men in kolom 6 van tabel XXVII vindt.

waarin de waarnemingen in iederè reeks op elkaar zijn gevolgd.

Hieronder worden nog in de tabellen XXV tot XXXVII de uitkomsten vermeld van een aantal andere metingen. Zij bevestigen de boven beschreven resultaten in alle opzichten, waarom het overbodig mag worden geacht het aantal der geconstrueerde krommen nog met vele nieuwe te vermeerderen.

De tabellen XXVII en XXVIII hebben betrekking op de verlichting met de electrische booglamp en bestaan uit 7 kolommen, terwijl de daarop volgende tabellen de resultaten van het onderzoek met de gaslamp weergeven en alle 9 kolommen bevatten.

Tabel XXV.

Langdurige verlichting.

1 Tijdstip der waarneming in minuten.	2 Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	4 Diaphragmaopening in vierk. millimeters. O	6 Logarithmus der prikkelingsintensiteit.	7 Galvanometeruitslag in millimeters.	8 Electromotorische kracht der photoelectrische reactie in millivolts. E	9 Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms.
30	6,20	3411	3,533	134,0	1,13	
35		3411	3,533	140,0	1,18	
40		2090	3,320	114,0	0,96	
45		1096	3,040	99,0	0,83	
50		495	2,695	85,0	0,71	
55		158	2,199	62,5	0,53	
60		38,5	1,585	47,0	0,40	
65		9,1	0,959	27,5	0,23	23000
70	4.40	9,1	0,959	30,0	0,25	
75		38,5	1,585	55,0	0,46	
80		158	2,199	83,0	0,70	
85		495	2,695	108,0	0.91	
90		1096	3,040	124,0	1,04	
95		2090	3,320	137,0	1,15	
100	4,04	3411	3,533	150,0	1,26	

Tabel XXVI.

Langdurige verlichting.

1	2	4	6	7	8	9
30	5,80	3411	3,533	27,0	0,346	35000
35		1720	3,236	22,3	0,286	
40		876	2,942	19,7	0,252	
45		340	2,531	15,6	0,200	
50		88,3	1,946	11,1	0,142	
55	5,36	9,1	0,959	4,4	0,056	35100

Tabel XXVII.

Electrisch booglicht.

Verlichtingen met maximaal geopend diaphragma.

1 Tijdstip der waarneming in minuten.	2 Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	3 Duur der verlichting in seconden. t	6 Logarithme der prikkelingsenergie. $\log. O t$	7 Galvanometeruitslag in millimeters	8 Electromotorische kracht der photoelectrische reactie in millivolts. E	9 Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms.
22	11,80	0,002	0,834	145,3	1,352	20920
25	11,16	0,010	1,533	176,4	1,659	
28	10,54	0,060	2,311	217,4	2,038	
31	9,88	0,360	3,089	259,8	2,444	21160
34	9,60	0,002	0,834	93,0	0,877	
37	9,24	0,002	0,834	101,7	0,961	21240
40	9,00	0,010	1,533	142,8	1,351	
43	8,86	0,060	2,311	189,9	1,798	
46	8,76	0,360	3,089	223,7	2,117	
49	8,68	0,360	3,089	197,4	1,868	
52	8,58	0,100	2,533	164,4	1,553	
55	8,44	0,010	1,533	103,4	0,979	
58	8,28	0,002	0,834	73,7	0,696	
61	8,14	0,002	0,834	81,1	0,760	21200
64	8,04	0,010	1,533	126,7	1,192	
67	7,98	0,060	2,311	167,4	1,572	
70	7,90	0,360	3,089	196,0	1,840	
73	7,82	2,000	3,834	230,0	2,159	
76	7,74	6,000	4,311	243,7	2,279	
79	7,68	6,000	4,311	121,2	1,132	20980
83	7,62	2,000	3,834	108,3	1,011	
87	7,54	0,360	3,089	85,7	0,800	
92	7,46	0,060	2,311	67,3	0,628	
95	7,30	0,010	1,533	52,4	0,489	
98	7,14	0,002	0,834	39,1	0,365	
		gaslicht				
101	6,98	0,002	—	5,8	0,054	21000
104	6,88	0,002	0,834	38,2	0,357	

Tabel XXVIII.

Electrisch booglicht.

Verlichtingen met maximaal geopend diaphragma.

1	2	3	6	7	8	9
14	8,14	0,002	0,834	157,2	1,568	22400
20	8,02	0,010	1,533	193,9	1,930	
26	7,84	0,060	2,311	259,6	2,578	
32	7,66	0,360	3,089	332,2	3,289	
38	7,36	2,000	3,834	436,6	4,310	22200
44	7,04	0,360	3,089	243,6	2,417	
50	6,80	0,060	2,311	196,8	1,955	
56	6,68	0,010	1,533	149,8	1,492	
62	6,58	0,002	0,834	118,1	1,180	
68	6,50	zeer lang.	—	324,1	3,245	22500

Tabel XXIX.

1 Tijdstip der waarneming in minuten.	2 Electromotorische kracht van den ruststroom in millivolts.	3 Duur der verlichting in seconden. t	4 Diaphragmaopening in vierk. millimeters. O	5 Prikkelingsenergie $O \times t$	6 Logarithmus der prikkelingsenergie. $log.\ Ot$	7 Galvanometeruitslag in millimeters.	8 Electromotorische kracht der photoelectrische reactie in millivolts. E	9 Gezamenlijke weerstand van de keten in Ohms.
48	6,90	0,002	3411	6,822	0,834	16,7	0,151	24720
52		0,010	„	34,11	1,533	22,7	0,208	
55		0,060	„	204,7	2,311	37,1	0,344	
58		0,360	„	1228,—	3,089	49,5	0,464	
61		0,360	„	1228,—	3,089	48,4	0,458	
64	5,50	0,060	„	204,7	2,311	24,4	0,234	
67		0,010	„	34,11	1,533	13,4	0,130	
70		0,002	„	6,822	0,834	7,6	0,075	
73		zeer lang.	„	—	—	89,9	0,883	26700

Tabel XXX.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	7,18	0,360	3411	1228,—	3,089	18,4	0,205	27300
7	6,60	0,060	3411	204,7	2,311	13,4	0,149	
10	6,38	0,060	3411	204,7	2,311	13,2	0,147	
13	6.18	0,010	3411	34,11	1,533	9 9	0,111	
16	6.04	0,010	573	5,73	0,758	5,0	0,056	
19	5,92	0,010	88,3	0,883	0,946—1	2,9	0,033	
22	5.84	0,010	3411	34,11	1,533	12,5	0,141	
25	5,72	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	0,2	0,002	
27	5,66	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	0,9	0,010	
29	5.64	0,002	573	1,146	0,059	4,3	0,049	
31	5,62	0,002	3411	6,822	0,834	8,6	0,098	27800
33	5,60	0,060	3411	204,7	2,311	14,8	0,168	
36	5.58	0,360	3411	1228,—	3,089	23,2	0,264	
39	5,58	0,060	3411	204,7	2,311	14,8	0,165	
41	5,56	0.010	3411	34,11	1,533	10,6	0,121	
43	5,56	0,002	3411	6,822	0,834	8,1	0,092	27850
45	5,56	0,002	573	1,146	0,059	4,4	0,050	
47	5.54	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	1,0	0,011	
49	5 54	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	0,3	0,003	
51	5,54	0,002	88,3	0,1766	0,247- 1	1,7	0,019	
53	5,52	0,360	3411	1228,—	3,089	28,2	0,322	28100
56	5,50	zeer lang	3411	—	—	65.3	0,750	

Tabel XXXI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
58	6,96	0,010	3411	34,11	1,533	13.3	0,126	25800
61	6,86	0,060	..	204,7	2,311	20,9	0,198	
64	6,78	0.360	..	1228	3,089	37,6	0,357	
67	6.72	0,060	..	204,7	2,311	21,1	0,200	
70	6,66	0,010	..	34,11	1,533	13.3	0,127	
73	6,62	0,060	..	204,7	2.311	21.2	0,203	26050
83	6,46	zeer lang	..	_	_	138,2	1,330	

Tabel XXXII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	5,72	0,010	3411	34,11	1,533	15,6	0.160	25600
8	—	0,010	3411	34,11	1,533	15,6	0,160	
12	5,12	0,010	3411	34,11	1,553	17,6	0.181	
16	4,70	0,002	3411	6,822	0,834	11,3	0,117	
20	4,30	0,002	3411	6,822	0,834	11,5	0,119	
22	4,14	0,002	573	1,146	0,059	5,8	0,061	
24	4,00	0,002	88,3	0,1766	0.247—1	2,9	0.031	
26	—	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	1,4	0,015	
27	—	0,002	5,73	0,01146	0.059—2	0,8	0,009	
28	—	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0,1	0,001	
29	3,66	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	0,9	0,010	
31	—							26320
32	—	0,002	13,85	0 0277	0.442—2	2,6	0,027	
34	—	0,002	88,3	0,1766	0.247—1	4,6	0,048	
36	3,34	0,002	573	1,146	0,059	8,4	0,088	
38	—	0,002	3411	6,822	0,834	14,4	0,152	
40	3,20	0,010	3411	34,11	1.533	22,3	0,235	
42	3,10	0,060	3411	204,7	2.311	30.6	0,322	
44	2.96	0,360	3411	1228,—	3,089	39.4	0,415	
46	2,86	1,150	3411	3923,—	3.594	44.2	0,466	
48	2,80	0,360	3411	1228,—	3.089	35.0	0,369	
50	2.76	0,060	3411	204,7	2,311	27,0	0,284	
52	2,74	0,010	3411	34,11	1.533	18.2	0,192	
54	2,74	0,002	3411	6,822	0,834	11.5	0,121	26320
56	2.72	0,002	573	1,146	0.059	5,6	0,059	
58	2,70	0,002	88,3	0,1766	0.247—1	2,8	0,029	
60	2,70	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	1,4	0,015	
62	2,68	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0,2	0.002	
64	2,66	0,002	0,20	0,00040		0	0	
66	2.64	0,002	13,85	0,0277	0.442—2	1,2	0 013	
68	2.62	0,002	573,	1,146	0,059	5,7	0,060	
70	2,60	0,002	3411	6,822	0.834	11,8	0,123	
72	2,58	0,060	3411	204,7	2,311	29,6	0,308	
74	2,54	zeer lang	3411	—	—	39,6	0,412	26000
				rust.				
90	2.42	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0	0	
92	2.42	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	0,1	0.001	
94	2.42	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	0,3	0.003	
96	2.40	0,002	88,3	0,1766	0.247—1	0.9	0,010	
98	2.32	0,002	573	1,146	0,059	2,2	0.023	
100	2.28	0,002	3411	6,822	0,834	5.1	0.052	25640
102	2,18	0,010	3411	34,11	1.533	9,1	0,094	
104	2.14	0,060	3411	204,7	2,311	14,0	0,144	
106	2.10	0,360	3411	1228,—	3,089	18,2	0,186	
108	2,08	1,710	3411	5833,—	3.766	21,2	0,216	
110	2,06	6,400	3411	21830,—	4,339	23,2	0,236	
112	2,04	32,800	3411	—	—	24,8	0,253	
116	2,00	zeer lang	3411	—	—	22,8	0,231	
120	1,96	0,360	3411	1228,—	3,089	17,4	0,176	25300

Tabel XXXIII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	9,26	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0	0	15520
9	8,78	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	0,1	0,001	
12	8,16	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	0,4	0,003	
14	7,78	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	2,3	0,015	14610
16	7,28	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	0,4	0,003	
18	6,94	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0	0	
20	6,60	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	2,3	0,015	
22	6,20	0,002	573,—	1,146	0,059	7,1	0,046	
24	6,00	0,002	3411,—	6,822	0,834	11,5	0,013	
26	5,72	0,010	3411,—	34,11	1,553	17,4	0,111	
28	5,42	0,060	3411,—	204,7	2,311	35,2	0,221	
30	5,22	0,360	3411,—	1228,—	3,089	56,9	0,356	
32	5,12	4,—	3411,—	13640,—	4,135	82,8	0,516	
34	5,00	6,—	3411,—	20470,—	4,311	87,1	0,539	
36	4,86	8,—	3411,—	27290,—	4,436	90,4	0,557	
38	4,74	6,—	3411,—	20470,—	4,311	83,9	0,513	13770
40	4,66	4,—	3411,—	13640,—	4,135	77,0	0,471	
42	4,56	0,360	3411,—	1228,—	3,089	47,7	0,292	
44	4,48	0,060	3411,—	204,7	2,311	29,2	0,177	
46	4,40	Door een vergissing meerdere prikkels toegediend.						
50	4,32	0,010	3411,—	34,11	1,553	16,6	0,101	
52	4,28	0,002	3411,—	6,822	0,834	11,0	0,067	
54	4,20	0,002	573,—	1,146	0,059	7,1	0,043	
56	4,16	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	3,8	0,023	13600
58	4,10	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	1,2	0,007	
60	4,04	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	0,6	0,004	
62	3,98	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0	0	
64	3,96	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	0,8	0,005	
66	3,92	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	5,0	0,030	
68	3,86	0,002	573,—	1,146	0,059	9,5	0,057	
70	3,82	0,002	3411,—	6,822	0,834	16,1	0,097	
72	3,78	0,002	3411,—	6,822	0,834	16,4	0,099	
74	3,72	0,010	3411,—	34,11	1,553	26,9	0,163	
76	3,66	0,060	3411,—	204,7	2,311	42,4	0,256	
78	3,60	0,360	3411,—	1228,—	3,089	60,7	0,368	
81	3,54	4,—	3411,—	13640,—	4,135	79,5	0,481	
84	3,52	6,—	3411,—	20470,—	4,311	79,6	0,482	
87	3,50	4,—	3411,—	13640,—	4,135	69,1	0,418	13600
92	3,48	0,360	3411,—	1228,—	3,089	51,4	0,311	

Tabel XXXIV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	7,40	0,002	0,20	0,00040		0		21700
38	7,10	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0,4	0,004	
40	6,98	0,002	3,14	0,00628	0,798—3	1,6	0,014	
42	6,96	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	3,0	0,026	
44	6,94	0,002	9,07	0,01814	0,259—2	5,8	0,050	
46	6,94	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	6,0	0,062	
47	6,94	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,2	0,028	
49	6,96	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,8	0,033	
51	6,96	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	4,4	0,038	
56	7,04	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	6,2	0,053	
58	7,10	0,002	0,20	0,0004		0		20830
60	7,12	0,002	1,13	0,00226	0,354—3	0,4	0,004	
62	7,14	0,002	3,14	0,00628	0,798—3	1,5	0,013	
64	7,16	0,002	5,73	0,01146	0,059—2	3,1	0,026	
66	7,20	0,002	9,07	0,01814	0,259—2	2,6	0,022	
68	7,24	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,5	0,029	
70	7,28	0,002	26,42	0,05284	0,723—2	6,5	0,054	
72	7,30	0,002	88,3	0,1766	0,247—1	10,6	0,087	
74	7,32	0,002	573,—	1,146	0,059	20,0	0,164	
76	7,36	0,002	3411,—	6,822	0,834	28,4	0,231	
78	7,40	0,002	13,85	0,0277	0,442—2	3,6	0,029	
80	7,44	0,010	3411,—	34,11	1,553	43,4	0,352	
82	7,48	0,060	3411,—	204,7	2,311	79,4	0,642	
84	7,52	0,360	3411,—	1228,—	3,089	119,8	0,968	19700
86	7,58	2,100	3411,—	7163,—	3,855	154,7	1,242	
88	7,64	zeer lang	3411,—	—	—	227,3	1,820	
91	7,72	0,002	3411,—	6,822	0,834	16,2	0,129	
93	7,80	0,002	3411,—	6,822	0,834	16,4	0,131	19500
95	7,88	0,060	3411,—	204,7	2,311	57,1	0,453	
97	7,94	0,060	3411,—	204,7	2,311	55,8	0,441	
101	7,96	0,060	3411,—	204,7	2,311	56,8	0,446	
105	7,88	0,060	3411,—	204,7	2,311	58,0	0,452	
109	7,80	0,002	3411,—	6,822	0,834	16,5	0,125	18900

Tabel XXXV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
208	3,24	0,002	3411	**6,822**	0,834	**7,1**	0,095	36700
211		0,004	»	13,64	1,135	9,7	0,130	
214		0,008	»	27,29	1,436	12,7	0,170	
218		0,002	»	**6,822**	0,834	**7,1**	0,095	
221		0,016	»	54,58	1,737	16,7	0,224	
223		0,032	»	109,2	2,038	19,6	0,263	
226		0,002	»	**6,822**	0,834	**7,4**	0,099	36700
228		0,064	»	218,3	2,339	23,5	0,316	
231		0,128	»	436,6	2,640	27,4	0,368	
234		0,002	»	**6,822**	0,834	**7,1**	0,095	
237		0,256	»	873,2	2,941	32,9	0,440	
240		0,360	»	1228,—	3,089	35,5	0,461	
243		0,002	»	**6,822**	0,834	**7,2**	0,096	
246	2,78							36400
316		0,360	3411	1228,—	3,089	36,2	0,482	36400
320		0,120	»	409,4	2,612	27,3	0,365	
323		0,040	»	136,4	2,135	19,5	0,262	
327		0,014	»	47,75	1,679	13,4	0,180	
330		0,004	»	13,64	1,135	7,9	0,107	
333	2,22	0,002	»	**6,822**	0,834	**6,1**	0,082	
336	2,22							37040
338		0,360	3411	1228,—	3,089	34,0	0,462	
343		»	3411	1228,—	3,089	33,1	0,451	
346		»	1257	452,—	2,655	25,8	0,352	
349		»	450	162, —	2,210	19,0	0,260	
352	2,08	»	158,4	57,12	1,757	12,8	0,176	
354		»	56,7	20,4	1,310	8,3	0,114	
356		»	18,9	**6,81**	0,833	**5,6**	0,079	
359		»	3411	1228,—	3,089	33,1	0,457	
365		zeer lang	3411	—	—	68,5	0,948	37680

Tabel XXXVI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
142	5,50	0,010	3411	34,11	1,533	11,5	0,126	30130
145		0,060	»	204,7	2,311	21,0	0,232	
148		0,360	»	1228,—	3,089	31,2	0,345	
152		0,010	»	34,11	1,533	11,9	0,133	
162		0,010	»	34,11	1,533	11,9	0,133	
165		0,002	»	6,822	0,834	4,5	0,050	
167	4,90	0,002	»	6,822	0,834	5,3	0,059	30560
169		0,002	»	6,822	0,834	4,9	0,055	
171		0,010	»	34,11	1,533	10,7	0,120	
174		0,060	»	204,7	2,311	17,9	0,201	
176	4,84	0,360	»	1228,—	3,089	24,9	0,280	
179		0,360	»	1228,—	3,089	24,4	0,274	
182		0,060	»	204,7	2,311	14,7	0,166	
185		0,010	»	34,11	1,533	6,9	0,078	
188	4,60	0,002	»	6,822	0,834	3,4	0,038	3092_0
194		zeer lang	»	—	—	62,7	0,711	

Tabel XXXVII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	8,82	0,360	3411	**1228**,—	3,089	**121,3**	1,114	25040
46	8,74	0,360	»	1228,—	3,089	121,8	1,112	
48	8,72	0,060	»	204,7	2,311	71,4	0,652	
50	8,70	0,010	»	34,11	2,533	38,5	0,351	
52	8,70	0,002	»	6,822	1,834	22,1	0,201	
57	8,70	0 360	»	**1228**,—	3,089	**108,7**	0,986	
59	8,68	0,002	»	6,822	0,834	19,8	0,179	
62	8,66	0.002	»	6,822	0,834	19,8	0,179	
65	8,64	0,010	»	34,11	1,533	38,2	0,345	
68	8,62	0,060	»	204,7	2,311	67,3	0,606	
73	8,58	0,360	»	**1228**,—	3,089	**94,6**	0,847	24510

Ten slotte veroorloven wij ons, de vraag te behandelen, welke beteekenis de afwijkingen van de wet van Fechner voor het zien kunnen hebben. Hierbij zullen wij veronderstellen, dat de intensiteiten der gewaarwording aan de intensiteiten der photo-electrische reactie evenredig zijn. Ongetwijfeld stellen de bovenbeschreven afwijkingen van de wet van Fechner ons in staat, om doelmatige gezichtsindrukken te verkrijgen bij nog veel grooter variatie in lichtintensiteit, dan anders het geval zou zijn. Want bleef de wet van Fechner ook voor de uiterste grenzen der prikkelingsintensiteit geldig, dan zou bij geringe prikkelingsintensiteiten de gewaarwording spoedig onmerkbaar worden, terwijl zij bij groote prikkelingsintensiteiten door overmatige sterkte niet meer zou kunnen worden verdragen.

De afwijkingen van de wet van Fechner komen aan dit bezwaar tegemoet.

Het gevolg dier afwijkingen kan men aldus uitdrukken: Is de absolute lichtintensiteit eenmaal gering, dan zal bij haar verdere vermindering de intensiteit der gewaarwording slechts weinig meer afnemen. Is de absolute lichtintensiteit eenmaal zeer groot, dan zal bij haar verdere vergrooting de intensiteit der gewaarwording slechts weinig meer toenemen.

Het mag intusschen niet uit het oog worden verloren, dat met dit groote voordeel een, zij het ook niet zeer zwaarwegend nadeel gepaard gaat: kleine variaties in lichtintensiteit zullen aan de grenzen der absolute intensiteiten moeilijker worden waargenomen. Dit nadeel weegt daarom niet zwaar, omdat wij in verreweg de meeste gevallen bij middelmatige lichtsterkten zien en juist bij deze lichtsterkten het onderscheidingsvermogen van verschil in intensiteit het grootst is.

Immers is bij deze lichtsterkten onze kromme het stijlst.

Door onze krommen wordt ook de beteekenis van de adaptatie van het oog voor donker en voor licht scherper omlijnd.

Is een menschelijk oog voor donker geadapteerd, dan zal een plotseling invallend schel licht een overmatig sterke gewaarwording doen ontstaan. Hetzelfde grijpt plaats met de photo-electrische reactie van het kikvorschenoog. De in dit hoofdstuk beschreven proeven werden alle met voor donker geadapteerde oogen verricht, die betrekkelijk kort werden verlicht; vandaar dat de photo-electrische reactie een hoog bedrag bereikte en in de geconstrueerde figuren aan de bovenste grens moest voorgesteld worden door een rechte lijn. Indien de oogen langer achter elkaar verlicht werden, zou wellicht, evenals bij de proeven van Waller, de adaptatie zich doen gelden en de bovengrens onzer krommen hol naar onderen worden.

LITERATUUR OPGAVE.

I. E. du Bois-Reymond. Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. II, Abth. 1, 1849, S. 256.

II. L. Hermann. Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven. Bd. III, 1868, S. 26, (geciteerd naar III).

III. —— Handbuch der Physiologie. Bd. II, Abth. 1, 1879, S. 146.

IV. Fr. Holmgren. Method att objectivera effecten af zjusintryck pro retina. Upsala Läkareförenings Förhandlingar. Bd. I, 1866, p. 184, (geciteerd naar VII, blz. 279).

V. —— Om retinaströmmen, ibid., Bd. VI, 1871, p. 419, (geciteerd naar VII, blz. 282).

VI. —— Ueber Sehpurpur und Retinaströme. Aus den Upsala Läkareförenings Förhandlingar übersezt. Untersuchungen a.d. physiol. Institute der Universität Heidelberg. Bd. II, 1878, S. 81.

VII. —— Ueber die Retinaströme. ibid., Bd. III, 1880, S. 278.

VIII. J. Dewar en J. Mac Kendrick. The physiological action of light. Journal of Anat. and Physiol. VII, 1873, p. 275.

IX. —— On the physiol. action of light. Part. I. Transactions of the Royal Society of Edingburgh, XXVII, 1876, p. 141, (voorgelegd in 1873).

X J. Dewar. L'action physiologique de la lumière. I. Rev. Scient., IX, 1875, p. 516.

XI. —— L'action physiologique de la lumiére. II. ibid., XI, 1877, p. 1245.

XII. —— Proc. Royal Institution, VII, 1876, p 360, (geciteerd naar XXX).

XIII. J. Dewar. Recent Researches ou the Physiological action of light. Nature, VIII, p. 204.

XIV. —— The physiological action of light. ibid., XV, blz. 433 en 453.

XV. J. Chatin. Sur la valeur comparée des impressions monochromatiques chez les invertébrées. C. R. de l'Acad. d. Sciences, XC, 1, 1880, p. 41.

XVI - — Contribution à l'étude des phénomènes de la vision chez les Gastéropodes pulmonés. C. R. de la Soc. de Biol XXXII, 1880, p. 1.

XVII. —— Action des lumières colorées sur l'appareil optique des Crustacées. ibid., XXXII, 1880, p. 224.

XVIII. W. Kühne en J. Steiner. Ueber das electromotorische Verhalten der Netzhaut. Untersuchungen a. d. physiol. Institute d. Univ. Heidelberg, Bd. III, 1880, S. 327.

XIX. —— Ueber electrische Vorgänge im Sehorgane. ibid., Bd. IV, 1881, S. 64.

XX. G. Grijns. Bijdrage tot de physiologie van den nervus opticus. Onderz. Physiol. laborat. Utrecht, IV, 1, 2, 1891, blz. 170.

XXI. Th. W. Engelmann. Ueber electrische Vorgänge im Auge bei reflectorischer und directer Erregung des Gesichtsnerven. Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, H. von Helmholtz als Festgruss dargebracht. 1891, S. 195.

XXII. S. Fuchs. Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf. I. Pflüger's Archiv., LVI, 1894, S. 408.

XXIII. —— II. ibid., LXXXIV, 1901, S. 425.

XXIV. A. Beck. Ueber die bei Belichtung der Netzhaut von Eledone Moschata entstehenden Actionsströme. ibid., LXXVIII, 1899, S. 129.

XXV F. Himstedt en W. A. Nagel. Ueber die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge. Annalen d. Phys. (4e Folge), IV, 3, S 537.

XXVI. F. Himstedt en W. A. Nagel. Hetzelfde ook: Berichte der Naturforsch. Ges. zu Freiburg i B., XI, 1901, S. 139.

XXVII. —— Die Verteilung der Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspectrum des Gaslichtes, mittels der Aktionsströme untersucht. ibid., XI, 1901, S 153.

XXVIII. A. D. Waller. Points relating to the Weber Fechner Law. Retina, Muscle, Nerve. Brain, XVIII, 1895, p 200.

XXIX. —— On the Excitability of Nervus Matter with especial reference to the Retina. ibid., 1900, XXIII, p. 1.

XXX. —— On the Retinal Currents of the Frog's eye, excited by light, and excited electrically. Phil. Trans. Roy. Soc. London, B. CXCIII, 1900, p. 123.

XXXI. —— On the Blaze Currents of the Frog's Eyeball. ibid., CXCVI, 1901, p. 194.

XXXII. —— On the retinal currents of the frog's eye, excited by light and excited electrically. Proceed. Roy. Soc., LXVI, 1900, p. 327.

XXXIII. —— On the „blaze currents" of the frog's eyeball. Proceed. Roy. Soc., LXVII, 1900, p. 439.

XXXIV. —— The eyeball as an electrical organ. Proceed. Physiol. Soc. Journ. of physiol., XXVI, p. 1.

XXXV. —— On the Excitability of nerve, its last signe of Live. Proceed. Neurol Soc. Brain, XXIII, 1900, p. 542.

XXXVI. —— Le dernier signe de vie. C. R. de l'Acad. d. scienc., CXXXI, p. 485.

XXXVII. —— Le premier signe de vie. ibid., CXXXI, p. 1173

XXXVIII. —— An attempt to estimate vitality of seeds by an electrical method. Proceed. Roy. Soc, LXVIII, 1901, p. 79.

XXXIX. —— The Electrical Effects of Light upon Green Leaves. Proceed. Roy. Soc., LXVII, 1900, p. 129.

XL. —— Action électromotrice de la substance végétale consécutive à l'exictation lumineuse C. R. de la Soc. de biol., 1900, p. 342.

XLI. —— Action électromotrice des feuilles vertes sous l'influence des lumières rouge, bleu et verte. ibid, 1900, p. 1093.

XLII. H. Kamerlingh Onnes. Een hulpmiddel bij het verlichten van schalen voor spiegelaflezingen. Versl. Kon. Acad. v. Wetensch. Afd. Nat., 1896, blz. 311.

XLIII. K. de Lint. Bijdrage tot de kennis van het normale electrocardiogram van den mensch.

XLIV. Aug. Charpentier. Recherches sur la persistance des impressions rétiniennes et sur les excitations lumineuses de courte durée. Archives d'ophthalm., X, 1890, p. 108.

XLV. Ch. Henry. Sur la relation générale entre l'intensité de la sensation et la durée de l'excitation lumineuse. C. R. de l'Acad. d. scienc., 1896, CXXIII, p. 452.

XLVI. H. v. Helmholtz. Handbuch der Physiologischen Optik. II Aufl. S. 488.

XLVII. K. Marbe. Theorie des Talbotschen Gesetzes. Philosophische Studien, herausgegeben von W. Wundt, XII, S. 279.

XLVIII. S. P. Langley. Energy and Vision. American Journal of science, XXXVI, 1888, p 359.

IL. J. K A. Wertheim Salomonson. Een nieuwe prikkelingswet. Versl. Kon. Akad v Wetensch. Afd. Nat., X, 1901—1902, blz. 385, 486 en 610.

L. E. A. Schäfer Text-Book of Physiology, vol. II, 1900, blz. 1055 en 1067.

Fig 1

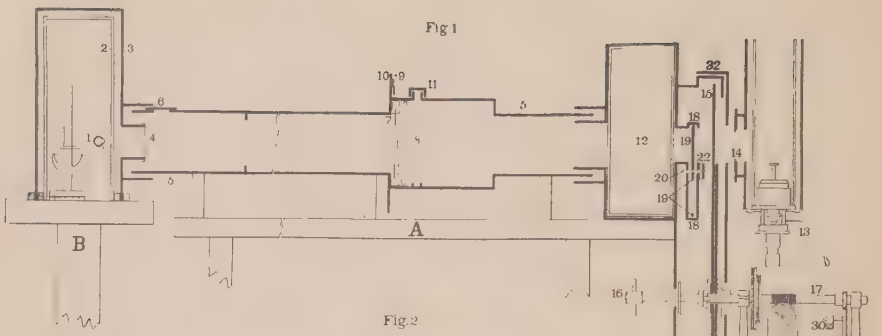


Fig.2

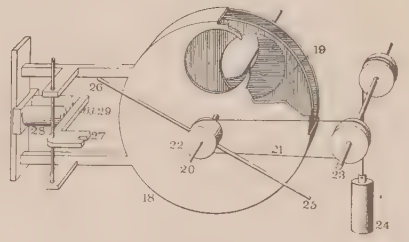


Fig3

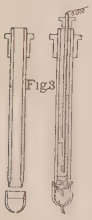


Fig.4

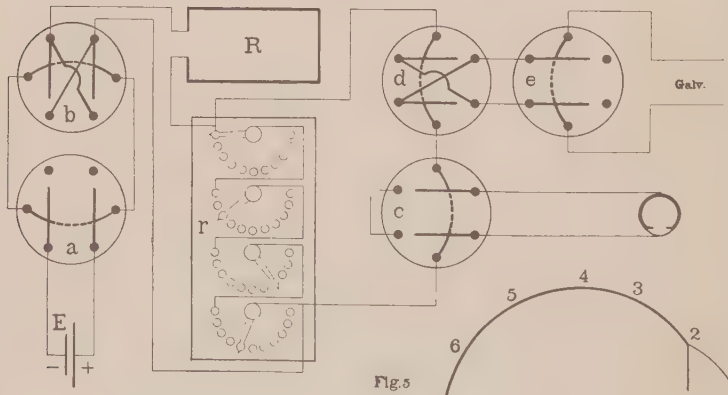
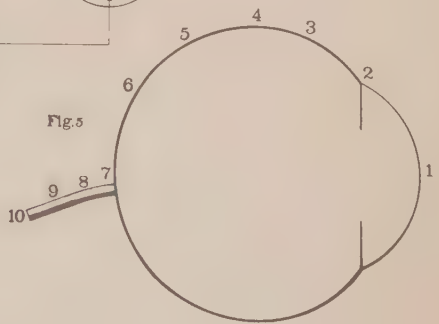


Fig.5



STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

Het kikvorschenoog is, voor zoover de actiestroomen dit kunnen uitwijzen, niet in staat, kleuren te onderscheiden.

II.

De plaats, waar tusschen de intensiteit van den prikkel en de intensiteit der gewaarwording het wiskundig verband optreedt, zooals dit door de wet van Fechner wordt uitgedrukt, is niet gelegen in de hersenen, maar in de zintuigen.

III.

De zichtbaarheid van de polsgolf in de venae en niet in de arteriae centrales van het oog vindt een oorzaak in de geringe voortplantingssnelheid van de polsgolf in die venae.

IV.

Een der oorzaken voor het ontstaan van een versterkten tweeden pulmonaaltoon bij chlorose is gelegen in het moeilijk stroomen van het bloed door de longen, wanneer het longvolumen klein is.

V.

Ten onrechte zijn de mazelen uit de wet op de besmettelijke ziekten geschrapt.

VI.

Bij staan met aanéengesloten voeten oefenen de capita femoris een druk naar boven en buiten op de acetabula uit.

VII.

Men geve de verhoogde schoenzool bij beginnenden platvoet eerst dan, indien andere middelen falen.

VIII.

De door Kagenaar gewijzigde keratometer van Javal zou minder zorgvuldige correctie van het astigmatisme van den onderzoeker vorderen, indien de scheidingslijn der prisma's evenwijdig aan de verbindingslijn der dubbelbeelden ware aangebracht.

IX.

Het verwekken van plaatselijke anaesthesie in den mond door chlooraethyl is af te keuren.

X.

Bij gerechtelijke secties onderzoeke men de hersenen mikroskopisch, al zijn zij makroskopisch intact.

XI.

De benaming van het ziektebeeld *hyalitis* is een onjuiste.

XII.

De oogmagneet van Volkmann is te verkiezen boven dien van Haab.

XIII.

Het verdient aanbeveling, de geneesmiddelen, welke in den oogbol moeten werken en daartoe in den conjunctivaalzak gebracht worden, in zalfvorm aan te wenden.

XIV.

Bij hydramnion zorge men voor langzaam afvloeien van het vruchtwater.

XV.

Neurasthenie berust meer op vermoeienis, dan op overprikkelbaarheid.

XVI.

Wettelijke beperking van de vivisectie is af te keuren.